Aus dem Institut für Mikrobiologie, Geflügelkrankheiten,
Elektronenmikroskopie und Tierhygiene
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Untersuchungen über die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung in einem einstreulosen Schweinemaststall

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Hans-Peter Bieber

Tierarzt aus Letmathe

Berlin 1975

Journal - Nr. 869

Aus dem Institut für Mikrobiologie, Geflügelkrankheiten,
Elektronenmikroskopie und Tierhygiene
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Untersuchungen über die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung in einem einstreulosen Schweinemaststall

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Hans-Peter Bieber

Tierarzt aus Letmathe

Berlin 1975

Journal - Nr. 869

Gedruckt mit Genehmigung
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Vorsitzender des FBR: Prof.Dr.H.Loppnow

Referent: Prof.Dr.H.G.Hilliger

Korreferent: Prof.Dr.K.Bronsch

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tag der Promotion: 19.12.1975

MEINEN ELTERN GEWIDMET

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	EINLEITUNG	1
II.	LITERATUR	2
A)	Das Stallklima und seine Faktoren	2
B)	Optimalwerte für Temperatur, relative Feuchte und Kohlendioxidgehalt der Luft in Schweinemastställen	3
C)	Bedeutung der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung für die Lüftungsbemessung in Stallungen	4
D)	Quellen der Entstehung von Wasserdampf und Kohlendioxid im Stall	6
E)	Grundwerte der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung in Schweineställen	7
1.	Allgemeine experimentelle Angaben und Richtwerte	8
2.	Einflüsse des Stallklimas auf die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung	11
3.	Einfluß des Gewichts des Einzeltieres auf die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung	14
4.	Einfluß der Tageszeit auf die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung	16
5.	Einfluß von Haltungsform und Betriebsablauf auf die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung	19
F)	Zusammenfassung der Literatur	22
III.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	24
A)	Untersuchter Stall	24
B)	Methodik	
1.	Tracergasmethode zur Luftwechselbestimmung	26
2.	Geräte zur Bestimmung der Lufttemperatur und -feuchte	29
3.	Geräte zur Bestimmung des Kohlendioxidgehaltes der Luft	30
4.	Versuchsdurchführung	30
5.	Verfahren zur Berechnung der Grundwerte	35
C)	Ergebnisse	40
1.	Vorversuche	41
a)	Versuchsbedingungen bei den Vorversuchen	41
b)	Einzel- und Durchschnittsergebnisse der Vorversuche	42

Seite

c) Einflußfaktoren auf die Ergebnisse der Vorversuche 43

d) Folgerungen für die Hauptversuche 49

2. Hauptversuche 50

a) Versuchsbedingungen bei den Hauptversuchen 50

b) Einzel- und Durchschnittsergebnisse der Hauptversuche 51

c) Prüfung des Einflusses des Stallklimas 53

d) Prüfung des Einflusses des durchschnittlichen Tiergewichtes 57

3. Ergänzende Versuche im Stall ohne Tiere 58

a) Allgemeine Klimasituation 58

b) Ergebnisse der ergänzenden Versuche 58

IV. B E S P R E C H U N G 63

A) Vergleich der Tagesdurchschnittswerte der eigenen Versuche mit anderen experimentellen Befunden 63

B) Bedeutung des Einflusses der Tageszeit auf die Ergebnisse 68

C) Bedeutung des Einflusses von Haltungsform und Betriebsablauf auf die Ergebnisse 73

D) Möglichkeit des Einflusses der Versuchsdurchführung und einige Bemerkungen zur Versuchstechnik 79

E) Schlußfolgerungen aus den eigenen Befunden für die Bemessung von Richtwerten zur Berechnung des notwendigen Lüftungsumfanges 82

V. Z U S A M M E N F A S S U N G / 86

S U M M A R Y

VI. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S 90

Anlage: Abkürzungen und Maßeinheiten

I. EINLEITUNG

Die aus ernährungspolitischen und ökonomischen Gründen notwendige Intensivierung der Nutztierhaltung hat mit der Erhöhung der Belegungsdichte und der Fortentwicklung der einstreulosen Haltungsform neue Probleme mit sich gebracht. So wurde zum Beispiel die Notwendigkeit einer stallgerecht geplanten Lüftung zur Erhaltung eines für die Tiere zuträglichen Stallklimas immer deutlicher. Diese Erkenntnis führte Anfang der 60iger Jahre zur Veröffentlichung der DIN 18910 durch den Deutschen Normenausschuß mit dem Titel "Klima im geschlossenen Stall". Die Norm gibt Empfehlungen für die Berechnung des notwendigen Umfangs der Stallüftung aufgrund von Richtwerten über die im Stall entstehenden Wasserdampf- und Kohlendioxidmengen. Diese Werte sind tierphysiologisch orientiert, Haltungsform und Betriebsablauf werden bei der Berechnung nicht näher berücksichtigt. Das gilt auch für die vollständig überarbeitete Ausgabe der DIN 18910 vom Oktober 1974. Da sich aber in der Praxis zeigte, daß stallspezifische Einflußfaktoren für die im Stall entstehenden Wasserdampf- und Kohlendioxidmengen von großer Bedeutung sind, ist es für eine Verbesserung des Berechnungsverfahrens notwendig, die haltungsspezifischen Einflüsse auf die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung experimentell näher zu überprüfen. Einen Beitrag hierzu soll die vorliegende Arbeit liefern.

II. L I T E R A T U R

A) Das Stallklima und seine Faktoren

Der Begriff "Stallklima" bezieht sich auf alle Veränderungen der chemischen Zusammensetzung und des physikalischen Zustandes der Stalluft, wie sie in einem umschlossenen, mit Tieren besetzten Raum mit dem Verlauf des Außenklimas und unter dem Einfluß der physiologischen Vorgänge im Tierkörper und der Bauweise und Form der Bewirtschaftung des Stalles stattfinden (OBER 1957, VON DER AA 1969).

Nach MARSCHANG 1971 ist Stallklima zu bezeichnen als die Gesamtheit der im Stall anzutreffenden physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren, die den tierischen Organismus - seine Gesundheit und seine Leistungsbereitschaft - beeinflussen. Die Stallklimafaktoren wirken ununterbrochen und gleichzeitig auf den Tierkörper ein, ein Teil dieser Faktoren steht in Wechselwirkung. Als physikalische Stallklimafaktoren nennt MARSCHANG die Stalluft-temperatur, -feuchte und -bewegung, als chemische Stallklimafaktoren die im Stall entstehenden Mengen Kohlendioxid, Ammoniak, Schwefelwasserstoff und weitere Zersetzungsprodukte aus Urin, Fäkalien und anderen organischen Stoffen. Als biologische Faktoren erwähnt er vor allem die Luftkeimzahl und den Staubgehalt der Luft, der aber nach MARSCHANG im eigentlichen Sinne nicht zu den biologischen Klimafaktoren gehört.

Das Stallklima beeinflußt die Leistungsfähigkeit der Tiere (KALICH 1970). So ist nach MOTHES 1970 und 1973 die Leistung der Tiere zu ca. 60 % von der Fütterung abhängig, zu ca. 20 % von Züchtung und Tieralter und zu weiteren 20 % von Stallklima und Haltungsbedingungen.

B) Optimalwerte für Temperatur, relative Feuchte und Kohlendioxidgehalt der Luft in Schweinemastställen

Als für die Schweinemast optimale Stallklimawerte finden sich in der Literatur folgende Empfehlungen:

Stallufttemperatur

ASAE DATA 1961	ca. 26° C	Ferkel
	ca. 23° C	30 - 65 kg
	ca. 15° C	75 -120 kg
BORCHERT 1965	13 - 18° C	
OBER u. MITTRACH 1967	14 - 24° C	
TECHN. SCHWED. ANWEISUNG Nr. 10 1968	16° C	
GEORGIEV 1970	23 - 21° C	20 - 25 kg
	20 - 18° C	um 40 kg
	18 - 15° C	Endmast
SAINSBURY 1970 u. 1972	21 - 17° C	Absetzen/Vormast
	13 - 10° C	Endmast/Heavy Hog
MALTRY 1971	22 - 18° C	Mastbeginn-70 kg
	20 - 15° C	70 -120 kg
TGL 29084 Entwurf 1974	22 - 18° C	ab 4. Monat aufwärts
DIN 18910 1974	22 - 18° C	Ferkel - 30 kg
	18 - 15° C	ab 30 kg aufwärts
STEPHAN 1974	25 - 24° C	20 - 40 kg
	23 - 22° C	40 - 60 kg
	21 - 20° C	60 - 80 kg
	19 - 18° C	80 -100 kg
HILLENDAHL 1975	20 - 18° C	Vormast - 40 kg
	18 - 15° C	Endmast

Relative Luftfeuchtigkeit

Hier liegen die Literaturangaben weitgehend gleich, und zwar bei 60 % - 80 % (OBER u. MITTRACH 1967, MALTRY 1971, TGL 29084 Entwurf 1974, DIN 18910 1974, STEPHAN 1974, HILLENDAHL 1975).

Kohlendioxidgehalt der Luft

Hier findet sich bei WOLFERMANN 1974 ein Wert von unter 0,5 Vol%. Ansonsten wird ein Wert von unter 0,35 Vol% empfohlen (MALTRY 1971, TGL 29084 1974, DIN 18910 1974).

C) Bedeutung der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung für die Lüftungsbemessung in Stallungen

Eine richtig bemessene Stallüftung ist neben den Mitteln des technischen Wärmeschutzes, der Beleuchtung und anderer technisch-hygienischer Maßnahmen ein essentieller Faktor zur Herstellung eines für die Leistungsfähigkeit der Tiere zuträglichen Stallklimas (OBER 1957). Hierbei ist der Zweck der Lüftung, die abgestandene Stalluft abzuführen und durch Frischluft zu ersetzen (SAINSBURY 1967). Im einzelnen wird neben der Zufuhr von Sauerstoff besonders die Notwendigkeit der Entfernung von im Stall entstehendem Wasserdampf, aber auch von Kohlendioxid, Stinkgasen, Staub und Mikroorganismen betont (STIETENROTH 1955 u. 1962). Der Lüftungsumfang hat sich also unter anderem daran zu orientieren, wieviel Wasserdampf und Kohlendioxid im Stall gebildet werden und somit aus diesem möglichst weitgehend abgeführt werden sollen. Des Weiteren ist auf die Erhaltung eines ausgeglichenen Wärmehaushaltes zu achten.

Die Abhängigkeit zwischen Lüftungsumfang einerseits und Wasserdampf- und Kohlendioxidkonzentration der Stalluft andererseits ermöglicht eine Berechnung der notwendigen oder Prüfung der vorhandenen Lüftung. Die DIN 18910 vom Oktober 1974 gibt hierzu Formeln für die Berechnung der notwendigen Luftraten nach dem Wasserdampf- und dem Kohlendioxidhaushalt an. Sie gliedert weiterhin in vier Wintertemperaturzonen (mit -10° C, -12° C, -14° C und -16° C) und zwei Sommertemperaturzonen (größer-gleich

26° C und unter 26° C).

Nach DIN 18910 muß der Wasserdampfhaushalt bei gegebenen außenklimatischen und geforderten stallklimatischen Verhältnissen ausgeglichen sein, der Kohlendioxidgehalt der Stalluft darf 3,5 l/m^3 nicht übersteigen. Die größere sich nach Wasserdampf- oder Kohlendioxidhaushalt ergebende Luftrate ist im Winter als Mindestluftrate anzusetzen. Zugleich ist darauf zu achten, daß der Wärmehaushalt des Stalles gedeckt ist. Für die Belüftung im Sommer gibt die DIN errechnete Mindestluftraten an.

VON CAMPE 1970 äußert sich kritisch über die Klimarichtlinien der DIN 18910. Er weist darauf hin, daß die Stallform und die Haltungsweise für das den Tieren zumutbare Klima entscheidend wichtig sind. Da die Wasserdampf- und Wärmebildung auch von der Häufigkeit und Art der Fütterung und weiteren Faktoren abhängt, seien die DIN-Angaben in Abhängigkeit vom Tiergewicht nur mit Vorsicht anzuwenden. Er betont unter anderem die Notwendigkeit, die Lüftungssteuerung so einzurichten, daß die jeweils erforderliche Dosierung von Lüftung und Heizung kontinuierlich gewährleistet ist.

SCHNITZER 1970 wendet sich gegen die Berechnung der Luftraten nach dem Wasserdampfmaßstab, wobei die Luftrate nach DIN 18910 so bemessen wird, daß für die tiefsten angenommenen Außentemperaturen (damals noch drei Klimazonen nach der DIN-Ausgabe von 1963) und eine Außenluftfeuchtigkeit von 100 % die Luftfeuchtigkeit im Stall nicht über 85 % ansteigt. Er kritisiert die hier implizierte Voraussetzung, daß die relative Luftfeuchtigkeit ein Qualitätsmerkmal der Luft sei. Darüber hinaus wendet er sich dagegen, den in kälteren Klimazonen gehaltenen Tieren weniger Luft zuzumessen als denen in wärmeren Klimabereichen. Er gibt dagegen dem Kohlendioxidmaßstab

zur Berechnung der Lüftung den Vorzug, da die Kohlendioxidabgabe der Tiere dem Luftverbrauch praktisch proportional sei.

Diese Beurteilung berücksichtigt nach meiner Meinung nicht die Tatsache, daß je nach Haltungsform und Betriebsablauf ein Großteil der mit der Lüftung abzuführenden Substanzen nicht von den Tieren selbst gebildet wird. Das gilt besonders für die Wasserdampfbildung (sekundäre Wasserdampfbildung). Wird diesem Aspekt genügend Rechnung getragen, ist bei einer Lüftungsberechnung nach dem Wasserdampfhaushalt im allgemeinen auch ein ausgeglichener Kohlendioxidhaushalt und insgesamt eine angemessene Luftqualität zu erreichen. So wird in der Literatur die größere Genauigkeit des Kohlendioxidmaßstabes gegenüber dem Wasserdampfmaßstab auch primär unter dem Gesichtspunkt der Lüftungskontrolle, weniger der Planung genannt (HILLIGER 1968, 1969 u. 1970). Die Brauchbarkeit der Bestimmung des Kohlendioxidgehaltes der Stalluft als Indikator für den Lüftungsumfang erwähnen unter anderem auch SELTMANN 1955, LUTZ-DETTINGER, WUNDT und EPPENSTEIN 1967 und KOTZ 1972.

D) Quellen der Entstehung von Wasserdampf und Kohlendioxid im Stall

Der WASSERDAMPF entsteht im Stall aus der Atmung der Tiere, der Transpiration, der Perspiratio insensibilis, der Verdunstung von Wasser aus Kot, Harn, Flüssigmist, Reinigungswasser, weiterhin aus der Verdunstung von Wasser bei der Flüssigfütterung (WOLFERMANN u. HORNIG 1971). Hierbei ist die Transpiration zu verstehen als Schwitzen, Ausdünstung (PSCHYREMBEL 1969), die Perspiratio insensibilis als Diffusion (WOLFERMANN 1965) bzw. als unmerkliche Hautatmung (PSCHYREMBEL 1969).

Das entstehende KOHLENDIOXID entstammt in erster Linie der Atmung der Tiere, darüber hinaus entsteht Kohlendioxid bei Umsetzungsvorgängen von im Stall befindlichen Ausscheidungen der Tiere und bei Heizungsanlagen mit offener Verbrennung im Raum, z. B. Gasstrahler, Ölheizungen ohne Rauchgasabführung usw. (WOLFERMANN 1974).

E) Grundwerte der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung in Schweineställen

Die Höhe der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung in Schweineställen ist einerseits eine tierartspezifische Größe. Darüber hinaus ist sie aber auch von verschiedenen weiteren Einflußfaktoren wie Stallklima, Gewicht des Einzeltieres, Tageszeit und Haltungsform und Betriebsablauf abhängig. Aus diesem Grunde sind die Literaturwerte im folgenden sowohl in Form allgemeiner Angaben als auch nach den obengenannten Einflußfaktoren gegliedert dargestellt.

1. Allgemeine experimentelle Angaben und Richtwerte

Eine Übersicht über experimentelle Angaben für die Wasserdampfbildung in Schweineställen gibt Tabelle 1.

AUTOR	Wasserdampf g/GVh	Versuchsbedingungen
BOND u. Mitarb. 1959	670	Klimastallversuche, fester Boden, keine Einstreu, ∅ Tiergew. 68 kg, t_i 15° C, φ_i ca. 50 %
PAESLACK 1965	760	∅ Tiergew. 30-100 kg t_i 20,4° C, φ_i 69 % zweimal tgl. Fütterung
WOLFERMANN 1969	770	Spaltenboden, ∅ Tiergew. 70 kg, t_i 16° C
HILLIGER u. GÖTTLING 1971	960	Spaltenboden, ∅ Tiergew. 74 kg, t_i 15,6° C
WOLFERMANN u. HORNIG 1973	760	Teilspaltenboden, einstreulos, ∅ Tiergew. 67,5 kg, t_i 18° C, φ_i ca. 70 %
ABSHOFF 1974	720	∅ Tiergew. 45-90 kg, t_i 20° C, φ_i 75 %
WERNERY u. HILLIGER 1974a	663 -1505	Teilspaltenboden, Güllelagerung im Stall, ∅ Tiergew. 80 kg, t_i 17° C, φ_i 70 %
WERNERY u. HILLIGER 1974b	1180 (Tagesgang) 1977 (12.45 - 15.10 Uhr)	Faltschieberentmistung, Naßreinigung, ∅ Tiergew. 78 kg, t_i 20° C, φ_i 45 %

Tab. 1: Experimentelle Angaben zur Wasserdampfbildung in Schweineställen

Die in Tabelle 1 zusammengefaßten Literaturangaben weisen in der Höhe der gemessenen Wasserdampfbildung erhebliche Unterschiede auf. So liegt das angegebene Minimum etwa bei der Hälfte der Maximalwerte. Da diese großen Unterschiede wohl in erster Linie auf die unterschiedlichen Versuchsbedingungen zurückzuführen sind, sind diese Daten, soweit möglich, in der Tabelle angegeben. Die geringsten Werte wurden bei den Klimakammerversuchen gemessen (BOND u. Mitarb.). Diese stellen haltungstechnisch eine Besonderheit dar, bei der davon auszugehen ist, daß sowohl das Tierverhalten (keine Rangordnungskämpfe, weniger Unruhe usw.) als auch die sekundäre Wasserdampfbildung aus Verdunstungsquellen im Stall (besonders sorgfältige Reinigungs- und Pflegearbeiten) anders sind als in praxisüblichen Ställen.

Verschiedene Richtwerte für die Wasserdampfbildung von Schweinen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

AUTOR bzw. QUELLE	Wasserdampf g/GVh		
STIETENROTH 1962	400	allgem. Angabe	
SAINSBURY 1967	1260	Ø Tiergew.	27 kg
	1040	" "	45 kg
	800	" "	90 kg
TECHNISCHE SCHWEDISCHE	640	Ø Tiergew.	45 kg
ANWEISUNG Nr. 10 1968	430	" "	90 kg
TGL 29084 Entwurf 1974	940	Ø Tiergew.	40 kg
	625	" "	80 kg
DIN 18910 1974	700	Ø Tiergew.	30 kg
	600	" "	40 kg
	500	" "	60 kg
	445	" "	80 kg
	415	" "	100 kg

Tab. 2: Richtwerte für die Wasserdampfbildung in Schweineställen

Auch die einzelnen Richtwerte zeigen erhebliche Unterschiede. Darüber hinaus liegen sie im allgemeinen niedriger als die experimentellen Angaben, was dafür sprechen mag, daß stallspezifische Eigenheiten nicht genügend bei der Bemessung der Richtwerte berücksichtigt sind.

In Tabelle 3 sind verschiedene experimentelle Angaben zur Kohlendioxidbildung von Schweinen aufgeführt.

AUTOR	Kohlendioxid l/GVh	Versuchsbedingungen
OSLAGE u. Mitarb. 1966	200	Stoffwechselversuche in Stoffwechselkästen, max. Futteraufnahme, ø Tiergew. 55 kg
HILLIGER u. GÖTTLING 1971	377	Teilspaltenboden, Trogfütterung, ø Tiergew. 74 kg, t_i 15,5° C
WERNERY u. HILLIGER 1974b	280	Faltschieberentmistung, Naßreinigung, ø Tiergew. 78 kg, t_i 20° C, φ_i 45 %

Tab. 3: Experimentelle Angaben zur Kohlendioxidbildung in Schweineställen

Die für die Kohlendioxidbildung angegebenen Werte weisen große Unterschiede auf. So beträgt der höchste Wert ca. das 1,9fache des niedrigsten Wertes. Als mögliche Gründe hierfür sind die unterschiedlichen Versuchsbedingungen anzuführen. Besonders die Angaben von OSLAGE u. Mitarb. eignen sich hier weniger zum Vergleich, da sie als Umrechnungen von Stoffwechselversuchen keinen sekundären Kohlendioxidanteil beinhalten. Darüber hinaus fehlen hier Angaben zu Stalltemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit.

In Tabelle 4 sind neuere Richtwerte für die Kohlendioxidbildung von Schweinen zusammengestellt.

AUTOR bzw. QUELLE		Kohlendioxid l/GVh	
STIETENROTH	1962	170	allgem. Angabe
MOTHES	1973	300	ø Tiergew. 80 kg
DIN 18910	1974	215	ø Tiergew. 30 kg
		200	" " 40 kg
		185	" " 60 kg
		170	" " 80 kg
		165	" " 100 kg

Tab. 4: Richtwerte für die Kohlendioxidbildung in Schweineställen

Auch die Richtwerte der Kohlendioxidbildung zeigen größere Unterschiede und liegen gerade bei der DIN 18910 deutlich unter den experimentellen Angaben. Ähnlich den Wasserdampfwerten ist auch hier eine zu geringe Berücksichtigung stallspezifischer Eigenheiten als Ursache zu vermuten.

Um die Ursache für die stark variierenden Literaturangaben näher zu ergründen, wird die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung im folgenden nach den hierfür in Frage kommenden Einflußfaktoren gegliedert dargestellt.

2. Einflüsse des Stallklimas auf die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung

Als besonders wichtige Stallklimafaktoren bezüglich der Leistung und Körperfunktion der Tiere werden die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit angesehen (OBER 1957, STIETENROTH 1962, HILLIGER 1969). Den größten klimatischen Einfluß auf die Wasserdampfabgabe von Schwei-

nen hat die Stallufttemperatur, und zwar in dem Sinne, daß bei höheren Temperaturen mehr Wasserdampf ausgeschieden wird. Grundlegende Untersuchungen führten dazu BOND u. Mitarb. 1959 durch, ihre Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden sie auf die in Deutschland üblichen Maßeinheiten umgerechnet.

Tiergewicht kg	Stallufttemperatur °C	Wasserdampfbildung g/GVh
ca. 45	ca. 9,5	750
" "	" 15,0	900
" "	" 21,0	1100
" "	" 26,0	1350

Tab. 5: Wasserdampfbildung von Schweinen in Abhängigkeit von der Stallufttemperatur nach BOND u. Mitarb. 1959.

Es ist zu beachten, daß die Versuche von BOND in Klimakammern durchgeführt wurden, in denen das Verhalten der Tiere ein anderes ist als in Ställen. ABSHOFF 1974 erwähnt hier psychosomatische Probleme, wie soziale Rangordnungskämpfe und die höhere spezifische Belastung durch Strahlungswärme in Mastbetrieben.

ABSHOFF 1974 bestätigt auf der Grundlage von Felduntersuchungen bei Schweinen zwischen 45 kg und 90 kg Körpergewicht die Abhängigkeit der Wasserdampfbildung von der Raumlufttemperatur. Seine Angaben sind in Tabelle 6 zusammengefaßt.

Stallufttemperatur	15° C	20° C	22° C	24° C
Wasserdampfabgabe	650 g/GVh	720 g/GVh	800 g/GVh	950 g/GVh

Tab. 6: Wasserdampfabgabe von Mastschweinen bei verschiedenen Raumlufttemperaturen und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 75 % nach ABSHOFF 1974.

Daß die Temperaturabhängigkeit der Wasserdampfabgabe nicht immer nachzuweisen ist, beschreiben WERNERY und HILLIGER 1974b. Ihre Versuche führten sie in verschiedenen praxisüblichen Schweineställen durch. Die Autoren prüften diese Frage jedoch nur in einem Temperaturbereich von 15,7° C bis 18,8° C.

Über den Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Wasserdampfbildung von Schweinen berichten MORRISON, BOND und HEITMANN 1967. Sie bestimmten bei zwei 90 kg schweren Schweinen die Wasserdampfabgabe über Haut und Respirationstrakt bei gleichbleibender Temperatur, aber unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit. Ihre Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt.

Lufttemperatur	relative Luftfeuchtigkeit	Wasserdampfbildung
29° C	30 %	530 g/GVh
"	50 %	570 g/GVh
"	70 %	545 g/GVh
"	90 %	415 g/GVh

Tab. 7: Wasserdampfbildung von zwei 90 kg-Schweinen bei unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit nach MORRISON, BOND und HEITMANN 1967, umgerechnet auf GV und auf eine Stunde bezogen.

Hier ist eine Tendenz in der Art zu erkennen, daß bei einem Ansteigen der relativen Luftfeuchtigkeit über 50 % die Wasserdampfabgabe der Schweine sich wieder verringert, d.h. daß die wärmeabgabe durch Wasserverdunstung erschwert ist.

Über eine Korrelation von Kohlendioxidgehalt der Luft zu Lufttemperatur und -feuchtigkeit berichten KIENLE 1960, GRAF 1964, HAHN 1967. Sie fanden in Ställen mit höherer Lufttemperatur und -feuchtigkeit auch einen erhöhten Kohlendioxidgehalt der Luft. Es wird aber nicht deutlich,

ob die Ursache eine höhere Kohlendioxidbildung der Tiere oder nur eine geringere Lüftungsintensität war. ABSHOFF 1974 stellte bei höherer Temperatur eine steigende Kohlendioxidbildung fest, was er in erster Linie mit einem erhöhten Atemvolumen begründet.

3. Einfluß des Gewichts des Einzeltieres auf die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung

Die Höhe der Wasserdampfabgabe eines Schweines steht in enger Beziehung zur Größe der Körperoberfläche (MOTHES 1970). Beim Wachstum des Tieres nimmt die Oberfläche in viel geringerem Maße zu als die Masse bzw. das Gewicht des Tieres. Das bedeutet, daß leichtere (jüngere) Tiere in Bezug auf eine Gewichtseinheit mehr Wasserdampf ausscheiden als größere. Verstärkt wird diese Tendenz noch durch die allgemein höhere Stoffwechselaktivität jüngerer Organismen. Diese theoretische Erkenntnis ist durch experimentelle Werte bestätigt worden. So vor allem durch die von BOND, KELLY und HEITMANN 1959 veröffentlichten Ergebnisse von Versuchen, die in Klimakammern durchgeführt wurden. Die Ergebnisse sind für drei Alters- bzw. Gewichtsklassen bei zwei verschiedenen Stallufttemperaturen in Tabelle 8 zusammengestellt.

Ø Tiergewicht kg	Temperatur °C	Wasserdampfbildung g/GVh
45	9,5	750
68	"	600
90	"	500
45	15,0	900
68	"	670
90	"	550

Tab. 8: Wasserdampfbildung von Schweinen in Abhängigkeit vom Tiergewicht nach BOND u. Mitarb. 1959

Auch bei der Kohlendioxidbildung der Schweine sind durch die unterschiedliche Stoffwechselaktivität altersspezifische Abstufungen zu erwarten. Diese Annahme bestätigt sich bei der Auswertung von Ergebnissen von Stoffwechsel- und Respirationsversuchen von OSLAGE u. Mitarb. 1966. Sie führten Versuche zum Stickstoff-, Fett- und Energieansatz von wachsenden Mastschweinen durch und stellten unter anderem eine Kohlenstoffbilanz verschieden schwerer Tiere auf, wobei für die Autoren die C-Ausscheidung nur bezüglich der prozentualen Verteilung auf Kot, Harn und Kohlendioxid interessant war. Das CO_2 war hier jeweils mit 65 % bis 70 % beteiligt. Die Umrechnung der mitgeteilten Werte auf die hier benötigten Daten zeigt die Tabelle 9, die die Altersabhängigkeit der Größe der Kohlendioxidbildung deutlich werden läßt.

ø Tiergewicht kg	Kohlendioxidbildung l/GVh
35	240
45	205
55	198
65	195
75	194
85	188
95	183
105	176

Tab. 9: Kohlendioxidbildung von Mastschweinen in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Tiergewicht, errechnet nach Ergebnissen von Stoffwechselversuchen von OSLAGE u. Mitarb. 1966.

4. Einfluß der Tageszeit auf die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung

Es gibt nahezu keine Struktur und keine Funktion im Organismus, die sich nicht tagesperiodisch ändert. Immer sind Maxima und Minima zu finden, die den Tageszeiten in typischer Weise zugeordnet sind (MENZEL 1963, ASCHOFF 1964, KENSING 1973). Der Stoffwechsel von Schweinen durchläuft im Tagesverlauf eine sinusartige Schwingung mit einer Amplitude von ± 8 % bis ± 12 % vom Tagesdurchschnitt, wobei das Maximum in den Nachmittagsstunden und das Minimum in der zweiten Nachthälfte liegt (MOUNT 1968). WERNERY u. HILLIGER 1974a berichten, daß sie bei Messungen unter Feldbedingungen nachmittags zwischen 15 Uhr und 18 Uhr die größte Wasserdampfbildung feststellen konnten, und daß in Bezug auf dieses Maximum in den Vormittagsstunden (9 - 12 Uhr) durchschnittlich 17 %, in den Mittagsstunden (12 - 15 Uhr) 5 % und in den Abendstunden (18 - 21 Uhr) 13 % weniger Wasserdampf gebildet wurde. WERNERY u. HILLIGER 1974b geben Ergebnisse von Messungen über 24 Stunden bekannt, in denen für die Wasserdampfbildung ein deutliches Maximum in der Mittagszeit und ein Minimum zwischen 1 Uhr und 2 Uhr nachts festgestellt wurde. Allerdings liegt hier das Maximum über dem Dreifachen des Minimums (ca. 1700 g/GVh zu 500 g/GVh) und der von den Autoren errechnete Variationskoeffizient bei ± 39 %. Diese starke Streuung erklären die Autoren nicht allein mit der Stoffwechselrhythmik der Tiere, sondern führen sie auch auf die Haltungsform und die Stallführung zurück.

WOLFERMANN u. HORNIG 1973 berichten ebenfalls von Wasserdampfmessungen zu verschiedenen Tageszeiten bei Mast- und bei Zuchtschweinen. Hier liegen die Tageswerte um 6 % (Mastschweine) bzw. um 15 % (Zuchtschweine) höher als die Nachtwerte. Über tageszeitliche Schwankungen der Wasserdampfbildung aufgrund von Fütterungs- und Ruhezeiten be-

richtet auch PAESLACK 1965. Er erhielt bei Mastschweinen mit einem Gewicht zwischen 30 und 100 kg bei einer durchschnittlichen Lufttemperatur von 20,4° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 69 % eine gesamtdurchschnittliche Wasserdampfbildung von 760 g/GVh. Die während der Fütterungszeit gemessenen Werte betrugen 960 g/GVh, die bei völliger Ruhe im dunklen Stall nur 670 g/GVh. Die erhöhten Werte werden vom Autor als erhöhte Transpiration bei Unruhe, Bewegung und Futteraufnahme gedeutet. Die genannten Werte beziehen sich auf die im Stall insgesamt angefallenen Wasserdampfmengen, zusammengesetzt aus Tieranteil, Kot, Harn und Tränkwasser. Die erhöhte Wärme- und Wasserdampfabgabe der Schweine nach der Fütterung erwähnt auch ABSHOFF 1974.

Zum Tagesgang der Kohlendioxidbildung in Schweineställen berichten COMBERG u. WOLFERMANN 1964, daß sie in Schweineställen mit Teilspaltenboden einen gewissen Tagesrhythmus im Kohlendioxidgehalt der Stalluft feststellen konnten mit Maxima in den Vormittags- und den Spätmittagsstunden. Sie führen dies auf erhöhten Stoffwechsel nach den Freßzeiten zurück.

WERNERY u. HILLIGER 1974b fanden in einem Schweinestall einen Tagesrhythmus, bei dem die maximale Kohlendioxidbildung (350 l/GVh) gegen 15 Uhr, das Minimum (235 l/GVh) zwischen 22 Uhr und 2 Uhr nachts lag. Der Tagesdurchschnitt betrug 280 l/GVh. Diesen periodischen Tagesgang der Kohlendioxidbildung sehen die Autoren im wesentlichen in den rhythmischen Veränderungen der Stoffwechselaktivität der Tiere begründet.

Eine Übersicht über die genannten tagesperiodischen Verläufe der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung geben die Abbildungen 1 und 2. Das vom jeweiligen Autor angegebene Tagesmaximum ist hierbei als 100 % angesetzt.

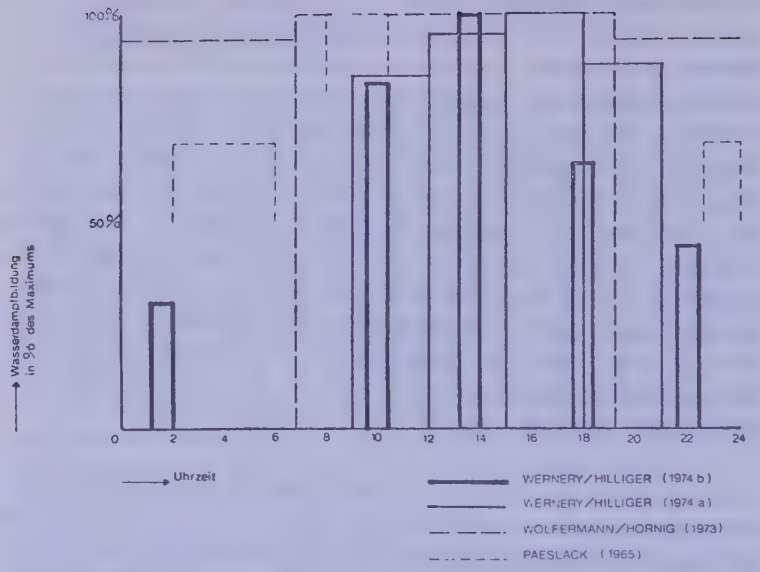


Abb. 1: Tagesverlauf der Wasserdampfbildung im Schweine-stall nach Angaben verschiedener Autoren.

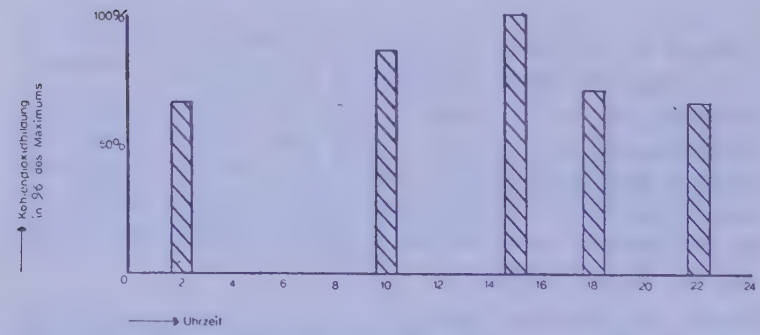


Abb. 2: Tagesverlauf der Kohlendioxidbildung im Schweine - stall nach Wernery u. Hilliger 1974b.

5. Einfluß von Haltungsform und Betriebsablauf auf die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung

Die unter diesem Punkt zu erwähnenden Einflußmöglichkeiten sind von komplexer Natur und in ihrem quantitativen Anteil noch weitgehend unklar. PAESLACK 1965 betont, daß das Ausmaß des Einflusses spezieller Haltungsbedingungen auf die Wasserdampfproduktion bisher unzureichend wissenschaftlich begründet ist. Ähnliches ist sicher für die Kohlendioxidbildung anzunehmen.

Besonders abhängig von der Haltungsform ist die sekundäre Wasserdampf- bzw. Kohlendioxidbildung im Stall, also die, die nicht direkt (primär) vom Tier ausgeht. Vor allem bei der Wasserdampfbildung übertrifft die sekundäre oft die primäre (PETIT u. DEBRUYCKERE 1965) oder ist zumindest gleich groß (BOND, KELLY u. HEITMANN 1952, GYSEL 1962, HILLIGER, BIEBER u. KURZBEIN 1974), und zwar in Abhängigkeit von der Stallufttemperatur, der Art und Gestaltung des Stallfußbodens (Vollspalten-, Teilspaltenboden usw.), der Verwendung von Einstreu, der Entmistungsform, dem Lüftungsumfang, der Luftführung und vor allem der Benutzung von Wasser (Reinigung) im Stall.

So untersuchten HARMANN, DALE u. JONES 1968 die Wasserdampfbildung in Schweineställen mit verschiedenen Bodenformen und fanden die größte Wasserdampfentstehung bei Massivböden, die geringste bei Vollspaltenböden (und zwar das 0,42fache des Massivbodens). Die Teilspaltenböden lagen zwischen diesen Extremwerten, proportional dem Prozentsatz des Spaltenanteils.

MOTHES u. Mitarb. 1969 betonen neben der Abhängigkeit der sekundären Wasserdampfbildung von der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und der Luftgeschwindigkeit in Feuchtigkeitsnähe den Einfluß der Feuchtigkeitsoberfläche im Stall. Ihre Größe und Beschaffenheit (blanker Flüssig-

keitsspiegel, Tiefstreu) hängt in starkem Maße von der verdunstbaren Feuchtigkeitsmenge ab. Hier kommt besonders die unterschiedliche Benutzung von Wasser zur Stallreinigung zum Tragen. Eine größere Feuchtfläche ergibt eine höhere Wasserverdunstung, hohe relative Luftfeuchtigkeit erschwert das weitere Verdunsten von Wasser. Eine hohe Luftgeschwindigkeit erhöht die Verdunstung. Nach DEBRUYCKERE 1965 besteht zwischen der Wasserverdunstung und der Luftgeschwindigkeit über dem nassen Boden folgende Beziehung:

$$E = 8{,}81 \cdot w^{0{,}7} \quad (P_s - P_a)$$

Hierbei sind:
E : Wasserverdunstungsmenge in g/m^2h
w : Luftgeschwindigkeit in 5-10 cm Höhe in cm/sec
P_s und P_a : Sättigungs- und partieller Dampfdruck der Luft in mm Hg-Säule

MOTHES u. Mitarb. 1969 veröffentlichen Anhaltswerte zur Verdunstung von Wasserdampf von nassen Oberflächen bei verschiedenen Temperaturen. Es wurden auf 1 m^2 Bodenfläche 1000 g Wasser ausgegossen und die zur Trocknung notwendige Zeit bestimmt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 10 dargestellt. Bei Tiefstreu gelten 30 %, bei Kot-Harn-Gemisch je nach Konsistenz 50 bis 100 % dieser Werte.

Stalluft-temperatur °C	relative Luftfeuchtigkeit %	Luftgeschwindigkeit m/s	Wasserdampfmengen g/m^2h
10	70	0,1 - 0,3	15
15	"	"	50
20	"	"	85
25	"	"	120

Tab. 10: Auf dem Stallboden verdunstende Feuchtigkeitsmengen nach MOTHES u. Mitarb. 1969

Die Pufferwirkung von Einstreu beschreiben PETIT u. DEBRUYCKERE 1965 (Geflügelställe): Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen - es dürften hiermit hohe relative Luftfeuchtigkeit und geringe Temperaturen gemeint sein - wurde in der Einstreu Feuchtigkeit angehäuft, d.h. also, mit der Lüftung weniger abgeführt. Bei besseren Verhältnissen (geringere relative Luftfeuchtigkeit, höhere Temperaturen) lag die Wasserverdunstung dann zeitweise erheblich höher, da die Einstreu schnell austrocknete. HILLIGER 1966 berichtet von einer Wasserverdunstung aus der Tiefstreu eines nicht mehr belegten Hühnerstalles von 13,6 bis 28,5 g/m^2h (t_i = 19,5° C - 22,7° C, φ_i 75 % - 81 %, 20 % der Stallgrundfläche entfallen auf die Kotgrube, Gesamtkotmenge 5 m^3).

Zum Einfluß der Luftführung berichten WERNERY u. HILLIGER 1974a (Schweinestall), daß die geringste Wasserdampfbildung bei Unterflurentlüftung gefunden wurde (735 g/GVh, gegenüber 900 g/GVh anderer Luftentnahmeart). Sie verweisen auf SÄLLVIK 1969, der den günstigen Einfluß der Unterflurentlüftung betont.

Auch von der Art der Fütterung und Tränke sind Einflüsse auf die Höhe der Wasserdampfbildung zu erwarten. WERNERY u. HILLIGER 1974a beobachteten, daß die Werte bei heißer Flüssigfütterung am höchsten (verdunstungssteigernde emperatur, sehr weicher Kot), dagegen die bei kalter Flüssigfütterung unter denen der Trockenfütterung lagen. Hier dürften ein Ausgleich über die Tränke erfolgt und weitere Einflußfaktoren wirksam geworden sein. In Tabelle 11 ist eine Schätzung des quantitativen Anteils der verschiedenen Gasquellen bei der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung in einem Mastschweinestall mit intensiver Naßreinigung nach WERNERY u. HILLIGER 1974b dargestellt.

Gasquelle	Wasserdampfbildung g/GVh	Kohlendioxidbildung l/GVh
Tiere	450	170
Kotbahn einschl. Tränke	250	50
Wasserreinigung	250	10
Gesamtmenge	950	230

Tab. 11: Geschätzte Aufgliederung der in einem Mastschweinestall ermittelten wasserdampf- und Kohlendioxidmengen nach der Herkunft nach WERNERY u. HILLIGER 1974b.

Zum Einfluß der Güllelagerung im Stall auf die Menge des Kohlendioxidanfalls betonen verschiedene Autoren, daß die Gasbildung zwar zu beachten, aber bei zweckmäßiger Lüftung kein nachteiliger, also lediglich ein unbedeutender Einfluß auf den Kohlendioxidgehalt der Stalluft zu erwarten ist. Das gilt nicht, wenn Turbulenz der Gülle (z.B. beim Ablassen, Rührwerke usw.) auftritt. Deshalb ist eine Placierung der Abluftöffnung möglichst nahe an der Güllegrube zu empfehlen (COMBERG u. WOLFERMANN 1964, GROTEWOHL u. MOTHES 1973).

F) Zusammenfassung der Literatur

Da eine stallgerechte Lüftung zur Erstellung eines für die Leistungsfähigkeit der Tiere optimalen Klimas notwendig ist, gilt es, die Parameter zur Bemessung dieser Lüftung praxisgerecht, also experimentell, zu bestimmen. Bei der Berechnung der Lüftung nach dem Wasserdampf- bzw. dem Kohlendioxidhaushalt heißt das, den wirklichen Anfall von Wasserdampf bzw. Kohlendioxid im Stall zu kennen. Die sehr unterschiedlichen Angaben in der Literatur zeigen, wie stark die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung von verschiedenen Einflußfaktoren abhängig

sind. Hierzu zählen nicht nur das Tieralter, sondern auch das Stallklima, die Tageszeit und in besonderem Maße Stalleigenheiten, wie Haltungsart und Betriebsablauf. Gerade über diesen letzten Aspekt liegen noch zu wenig Versuchsergebnisse vor. Das gilt für die Kohlendioxidbildung in noch höherem Maße als für die Wasserdampfbildung. Weiterhin ist bei der Bewertung der Literatur zu beachten, daß die experimentell gefundenen Ergebnisse vermutlich auch von der Versuchstechnik beeinflußt werden. Nach Verbesserung der Kenntnisse über die angeführten Faktoren sollte es gelingen, die zur Lüftungsbemessung notwendigen Stallklimarichtwerte, wie z.B. die der DIN 18910, den jeweiligen Stallgegebenheiten besser anzupassen.

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Ziel der Untersuchungen war es, mittels der Tracergasmethode Bestimmungen der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung in einem einstreulosen Schweinemaststall durchzuführen und die experimentell gefundenen Werte besonders mit den in der Bundesrepublik Deutschland benutzten Richtwerten (DIN 18910) zu vergleichen. Hierbei sollte im besonderen geklärt werden, inwieweit die Haltungsform, die Tageszeit und das Stallklima die Wasserdampf- und Kohlendioxidentstehung im Stall beeinflussen.

A) Untersuchter Stall

Bei dem untersuchten Stall (s. Abbildung 3) handelte es sich um einen Versuchstierstall des Instituts für Tierzucht und Tierernährung der Freien Universität Berlin.[1] Der Stall hat eine Länge von 12,13 m, eine Breite von 6,80 m und eine mittlere Höhe von 2,24 m. Der Rauminhalt (umschlossener Luftraum) des Stalles variierte je nach Güllestand und wurde deshalb zu jedem Versuchstag neu bestimmt. Der Luftraum lag nach Abzug der Zuluftschächte und des Windfanges bei 180 m^3. Die Schweineboxen verlaufen in zwei Reihen in Stallängsrichtung, die Boxenzahl kann durch die herausnehmbaren Metallrohrzwischengitter variiert werden, sie betrug bei den Versuchen vierzehn. Unter dem Teilspaltenboden (Breite jeweils 75 cm) verläuft je eine Güllegrube pro Boxenreihe über die gesamte Stallänge mit einer Breite von 73 cm und einer Tiefe von 50 cm. Der Fußboden ist betoniert (Estrich), die Wände sind bis zu einer Höhe von 125 cm gekachelt, darüber ist das Mauerwerk wie

---

[1] Dem Institut für Tierzucht und Tierernährung, Geschäftsführender Direktor Prof. Dr. K. Bronsch, danke ich für die Möglichkeit der Stallbenutzung.

die Decke verputzt und geweißt. Im Stall wurde keine Einstreu benutzt.

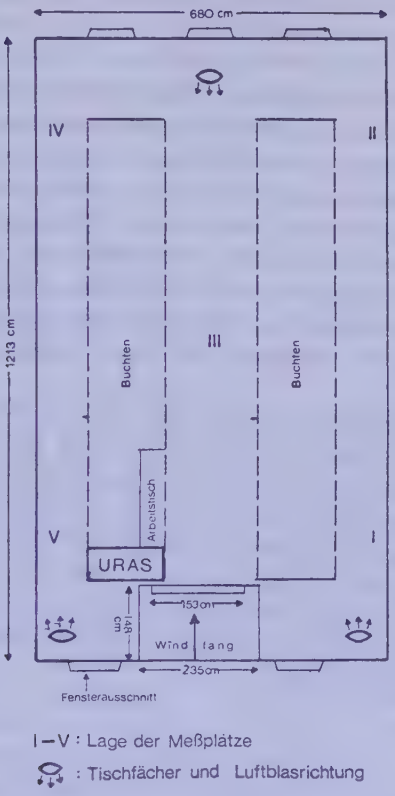


Abb. 3: Untersuchter Stall im Grundriß mit Lage der Meßplätze

Die Gülle wurde in den Gruben bis zu deren Füllung gestaut und war sehr wasserreich, da der Stall zweimal täglich, und zwar morgens und mittags, mit kaltem Wasser gereinigt wurde. Die Gülleleerung erfolgte während der Hauptversuche einmal.

Der Stall ist mit einer Gleichdrucklüftung mit Heizregistern versehen. Die Zuluftöffnungen, zwei mal zehn an der Zahl mit einer Größe von je 40 mal 20 cm, sind an zwei Zuluftkanälen jeweils über den Boxenreihen an der Stalldecke angebracht. Zwei Abluftöffnungen befinden sich an der Stirnseite des Stalles (Fläche je 50 mal 30 cm). Die Luftzuführung blieb bei den Versuchen unverändert, die Abluftöffnungen wurden verkleinert und die Abluftventilatoren abgestellt. Fenster und Türen blieben geschlossen.

Die Belegung des Stalles betrug bei den Versuchen 22 bis 24 Schweine mit einem Durchschnittsgewicht von 30 bis 47 kg (siehe Ergebnisse). Der pro Großvieheinheit zur Verfügung stehende Luftraum betrug um 90 m^3. Die Fütterung erfolgte im allgemeinen zweimal täglich (Trockenmischfutter mit kaltem Wasser aufgeschwemmt), und zwar morgens nach 8 Uhr und mittags nach 13 Uhr. Zu dieser Zeit erfolgten auch die übrigen Stallarbeiten, wie das Abspritzen des Bodens mit Leitungswasser.

B) Methodik

Die apparative Ausrüstung wird nach dem jeweiligen Untersuchungsziel getrennt dargestellt.

1. Tracergasmethode zur Luftwechselbestimmung

Die Bestimmung des Luftwechsels des Versuchsstalles erfolgte mittels der Tracergasmethode. Diese Technik wurde bereits von PETTENKOFER 1858, der Kohlendioxid als Tracer

benutzte, eingeführt und seitdem von verschiedenen Autoren beschrieben. Bei dieser Methode wird der Luft des zu prüfenden Raumes möglichst stoßartig ein Tracer als Meßgas zugemischt und dessen Konzentrationsabnahme kontinuierlich bestimmt. Der rechnerische Zusammenhang zwischen Konzentrationsänderung und Luftwechsel ist durch die Seidelsche Formel (nach GÖTTLING u. Mitarb. 1972) gegeben:

$$LW = \frac{2,303}{t} \quad \log \frac{C_1}{C_2}$$

Hierbei bedeuten:
LW = Luftwechsel in h^{-1}
C_1 = Tracergaskonzentration zur Zeit t_1
C_2 = Tracergaskonzentration zur Zeit t_2
t = Versuchszeit t_1 bis t_2 in h

Bei der Wahl des Tracergases ist anzustreben, daß dieses die im zu prüfenden Raum vorhandene Luftzusammensetzung nicht wesentlich verändert und daß seine Konzentration mit größtmöglicher Genauigkeit bestimmt werden kann. Diese Voraussetzungen sind bei dem hier benutzten Kr-85 weitgehend erfüllt. Es ist ein echtes "Fremdgas" in der Stalluft, d. h. es wird dieser nur durch die Versuchsdurchführung beigemischt, und es kann als radioaktives Gas schon in geringen Mengen mit den vorhandenen Geräten kontinuierlich und genau in seiner Konzentration bestimmt werden (EVANS u. WEBB 1971, GÖTTLING u. Mitarb. 1972). Krypton-85 hat eine relativ große Halbwertszeit von 10,7 Jahren, das bedeutet, daß es eine gute Lagerungsfähigkeit besitzt und keine Korrektur des radioaktiven Zerfalls notwendig ist. Die Energie der emittierten Beta-Strahlung beträgt 0,67 MeV, der Gamma-Zerfall ist zu vernachlässigen (Häufigkeit 0,4 %). Die Radiotoxizität ist gering, was einer Anwendung in belegten Ställen entgegenkommt. Der MZK-Wert für Kr-85 beträgt 3×10^{-6} µCi pro cm^3 Luft (GÖTTLING u. Mitarb. 1972).

Ein Meßplatz zur Bestimmung der Kr-85-Konzentration setzte sich zusammen aus:
1. einem Butan-Großflächenzählrohr Typ DDB 200 der Fa. Münchener Apparatebau, Kimmel KG, München.
2. einem Verstärker/Ratemeter vom Typ Alpha-Beta-Monitor TMB 2 der gleichen Firma, und daran angeschlossen
3. ein Linienschreiber PC - 120 der Fa. Metrawatt, Nürnberg.
Jedes Großflächenzählrohr war an einem Metallstativ in ca. 1,20 m Höhe über dem Erdboden befestigt.

Das Krypton-85 wurde in Glasampullen von 5 cm^3 Inhalt mit 10 mCi Kr-85 geliefert. Um es im Stall fein dosiert freisetzen zu können, wurde ein Krypton-Luft-Gemisch hergestellt. Das geschah auf folgende Weise: Als erstes wurde eine Zwei-Liter-Preßluftflasche evakuiert, sodann die Kryptonampulle in ein speziell angefertigtes Zwischenstück verbracht, welches luftdicht an einem Ende mit der evakuierten Flasche, an dem anderen Ende mit einer Druckluftleitung verbunden wurde. Durch Hineinschrauben eines Bolzens in das Zwischenstück wurde die Ampulle zertrümmert, zum gleichen Zeitpunkt das Ventil der evakuierten Flasche und hierauf das der Druckluftzuleitung geöffnet. Der Luftstrom spülte das Krypton-85 in die evakuierte Flasche, die bis auf 50 atm aufgefüllt wurde. In das Zwischenstück eingesetzte feine Drahtsiebe verhinderten hierbei ein Eindringen von Glassplittern in die Stahlflasche. Die 10 mCi verteilten sich nun auf 100 l Luft, somit war eine Konzentration von 0,1 mCi pro l Gemisch hergestellt. Im Zwischenstück verbliebenes Krypton-Luft-Gemisch fällt als Kryptonverlust nicht ins Gewicht, da das Volumen des Zwischenstücks von wenigen cm^3 im Verhältnis zu den 100 l hindurchgeströmte Luft im Bereich von Zehntel-Promille ($1:10^4$) liegt.

An die 2-l-Stahlflasche wurde zur Versuchsdurchführung ein Druckminderventil Regulus 1 der Drägerwerke Lübeck, ein Gaszähler (Gasuhr) und ein ca. 1 m langer, frei endender Gummischlauch angeschlossen.

2. Geräte zur Bestimmung der Lufttemperatur und -feuchte

Temperatur und relative Feuchte der Luft wurden kontinuierlich und diskontinuierlich gemessen.

Für die kontinuierliche Messung wurde der Temperatur- und Feuchtegeber Nr. 809 der Fa. Lambrecht, Göttingen, benutzt. Er besitzt als Meßelemente für die Temperatur widerstandsthermometer, die nach dem Prinzip der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes verschiedener Metalle arbeiten, und für die Feuchte präparierte Menschenhaare (Pernix-Elemente), deren Wirkungsweise die feuchtigkeitsabhängige Längenänderung ist. Die insgesamt benutzten 6 Geber waren an 2 Sechsfarben-Punktschreiber Typ Aru 410 der Hartmann und Braun AG, Frankfurt/Main, einen für die Temperatur und einen für die relative Feuchte, angeschlossen. Die Schreiber registrierten mit einem Umschaltintervall von 30 sek alle drei Minuten die werte aller 6 Meßstellen.

Als zweites kontinuierlich messendes Gerät wurde der Thermohygrograph der Fa. Lambrecht, Göttingen, benutzt. Die Trommel war auf 24-Std.-Umlauf eingestellt und wurde jeden Morgen mit einem neuen Schreibstreifen versehen.

Als drittes Meßgerät wurde das diskontinuierlich arbeitende Aspirationspsychrometer nach ASSMANN (Fa. Lambrecht, Göttingen) mit geeichten Thermometern (1/5° C-Einteilung) benutzt.

3. Geräte zur Bestimmung des Kohlendioxidgehaltes der Luft

Die Kohlendioxidbestimmung erfolgte mit dem Infrarot-Absorptionsgerät "URAS"I der Fa. Hartmann & Braun, Frankfurt/Main. Das Analysenprinzip des Gerätes gründet auf der Tatsache, daß verschiedene Gase, hier Kohlendioxid, spezifische Absorptionspektren im Infrarotbereich zeigen (Näheres s. KARTHAUS 1963, KARTHAUS u. ENGELHARDT 1971). Der URAS wurde mit einer Meßküvette für 0,0 bis 0,2 Vol% CO_2 eingesetzt. Zur Erhaltung der Anzeigegenauigkeit wurden vor und nach jedem Versuch die Nullanzeige mittels reinem Stickstoff und der Endwert mittels Eichgas bekannter Konzentration geprüft und falls notwendig korrigiert. Die zu analysierende Luft wurde über Schlauchleitungen von jedem Meßplatz, automatisch alle zwei Minuten wechselnd, entnommen. Die angesaugte Luft wurde mit einer Geschwindigkeit von v = 30 l/h angesaugt und über 2 $CaCl_2$-Trockentürme entfeuchtet. Die Meßwerte wurden von einem Sechsfarben-Punktschreiber (s.o.) alle 2 min für die Meßstellen wechselnd registriert.

4. Versuchsdurchführung

Im Stall waren fünf Meßplätze aufgebaut, deren Verteilung im Raum in Abbildung 3 eingezeichnet ist. Die Verstärker und Schreiber waren auf einem Arbeitstisch nahe dem Stalleingang zusammengefaßt, so daß sie gemeinsam kontrolliert und bedient werden konnten. Die drei im Stall benutzten Thermohygrographen befanden sich bei Meßplatz III, dann an der Stirnseite des Stalles ca. 2-3 m von Meßplatz II entfernt und auf dem Gerätetisch. Zur besseren Durchmischung der Stalluft wurden drei Tischfächer Typ VW 400, Fa. Linke, Berlin, aufgestellt (s. Abb. 3), die die Stalluft in Gangrichtung bewegten (Einstellstufe III). Der URAS befand sich in einer freien Stallboxe neben dem Gerätetisch. Die zu analysierende Luft wurde von einer

Saugpumpe angesaugt und durch Plastikschläuche von 6-10 mm Lumen von allen fünf Stallmeßplätzen und dem Außenmeßplatz zum URAS geleitet.

Der Außenmeßplatz (Meßplatz VI) befand sich auf einer Wiese ca. 25 bis 30 m vor dem Stalleingang und bestand aus einem Wetterhäuschen Typ 1099 der Fa. Lambrecht, Göttingen, welches mit einem Ferngeber Nr. 809 (s.o.), einem vierten Thermohygrographen und einem hier frei endenden URAS-Luftzufuhrschlauch bestückt war.

Spätestens eine Stunde vor dem Kryptonausblas wurde mit den direkten Vorbereitungen eines jeden Versuches begonnen. Hierzu gehörten als erstes das Einschalten der Tischfächer (falls sie nicht zwischen den Versuchen durchliefen), das Ausschalten der Abluftventilatoren und das Verkleinern der Abluftöffnungen zur Minderung der intensiven Lüftung. Darauf folgte die Kontrolle der Temperatur- und Feuchtegeber bzw. des Zeitgleichlaufs der betreffenden Sechsfarben-Punktschreiber und die Kontrolle der Thermohygrographen. Anschließend wurde die Anzeigegenauigkeit des URAS mittels reinem Stickstoff (Nullpunkt) und geeichtem Kohlendioxidprüfgas überprüft (Meßwerte siehe auch III.B)3.). Zur Kennzeichnung der bei den Kontrollen erhaltenen Ergebnisse wurden die Abweichungen vom Nullpunkt bei der Nullgaskontrolle und vom Endwert (hier 0,1925 bzw. 0,1930 Vol%) bei der Eichgaskontrolle in drei Gruppen eingeteilt, und zwar für das Nullgas in die Gruppen A, B und C, für das Eichgas in die Gruppen I, II und III. Dabei bedeutet beim Nullgas

Gruppe A eine Abweichung innerhalb $\pm$ 0,001 Vol%,
Gruppe B eine Abweichung innerhalb $\pm$ 0,002 Vol%,
Gruppe C eine Abweichung innerhalb $\pm$ 0,004 Vol%.
Für das Eichgas gilt die Einteilung
Gruppe I eine Abweichung innerhalb $\pm$ 0,003 Vol%,
Gruppe II eine Abweichung innerhalb $\pm$ 0,006 Vol%,
Gruppe III eine Abweichung innerhalb $\pm$ 0,010 Vol%.

Für das Nullgas wurden deshalb engere Grenzen gewählt, weil die Abweichungen bei der Nullgaskontrolle regelmäßig sehr niedrig waren. Die Ergebnisse der Kontrollen des URAS sind in Tabelle 12 zusammengestellt.

	NULLGAS			EICHGAS	
	vor dem Versuch	nach dem Versuch		vor dem Versuch	nach dem Versuch
Vorversuche (12)	A 9	8	I	12	12
	B 3	4	II	0	0
	C 0	0	III	0	0
Hauptvers. (26)	A 25	25	I	26	21
	B 1	1	II	0	5
	C 0	0	III	0	0
Ergänz. Vers. (9)	A 9	9	I	9	8
	B 0	0	II	0	1
	C 0	0	III	0	0

Tab. 12: Übersicht über die URAS-Kontrollen

Es zeigt sich, daß die Gruppen für die größten Abweichungen, also C bzw. III, bei allen Versuchen nicht auftraten. Bei den 12 Vorversuchen lagen beim Nullgas vor den Versuchen dreimal die Abweichungen in Gruppe B, die als geringe Abweichung zugunsten des Gleichlaufs des URAS nicht korrigiert wurden und sich als gleiche Abweichung nach den Versuchen wiederfanden. Nur einmal trat eine leichte Veränderung des Nullpunktes bei den Prüfungen vor und nach dem Versuch auf (von A zu B). Die Eichgaswerte lagen alle in der Gruppe der geringsten Abweichung (I).

Bei den 26 Hauptversuchen lag der Nullwert fünfundzwanzigmal in Gruppe A, einmal in Gruppe B. Beim Eichgas verschob sich der wert fünfmal im Laufe des versuches von Gruppe I zu Gruppe II. Hierbei handelte es sich um die ersten Versuche der Hauptversuchsserie.

Bei den neun ergänzenden Versuchen nach Herausnahme der Tiere (Leerversuche) änderte sich lediglich der Eichwert einmal (von Gruppe I zu II).

Als nächstes erfolgte die Spülung der Großflächenzählrohre mit Butan bei einer Durchströmgeschwindigkeit von 30 l/h, und zwar jedes dreimal 2,5 min lang mit Ausgleichszeiten (Pausen) von ebenfalls 2,5 min. Darauf wurden die Monitoren und Schreiber eingeschaltet und die Funktionsbereitschaft der Zählrohre durch Anhängen eines Testpräparates (Cs 135) geprüft. Lag der Ausschlag eines Monitors nicht zwischen 6000 und 7000 Ipm (=Impulse pro min), so wurde das zugehörige Zählrohr nochmals gespült und erneut geprüft. Bei vier der Versuche wurde die Testpräparatprobe auch nach Abschluß des Versuchs ohne vorherige Neuspülung der Zählrohre wiederholt, um eine eventuelle Änderung der Meßcharakteristik der Zählrohre festzustellen. Nach einer Meßzeit von 60 min lagen die Abweichungen der gemessenen Impulsraten unter 2 %. Die Prüfung vor und nach dem Versuch lag jeweils eine Stunde auseinander, wogegen der für die Versuchsauswertung ausschlaggebende Teil der Kryptonabfallkurve schon innerhalb von ca. 30 min nach Spülung und Prüfung der Zählrohre geschrieben war. Es kann also davon ausgegangen werden, daß in diesem Zeitraum die Zählrohre mit konstanter Meßempfindlichkeit arbeiteten. Nach der Funktionsbereitschaftskontrolle registrierten die laufenden Schreiber die natürliche Strahlung (Nulleffekt), und zwar bei 2 verschiedenen Empfindlichkeitsstufen der Monitoren (100 Ipm bzw. 1000 Ipm). Es zeigte sich, daß die Werte bei diesen zwei Meßempfindlichkeitsstufen unterschiedlich stark differierten. So lag der geschriebene Nulleffekt bei der höheren Empfindlichkeit (100 Ipm) bei Meßplatz I im Durchschnitt um 200 Ipm, bei Meßplatz II und III um 150 Ipm, bei Meßplatz IV um 20 Ipm und bei Meßplatz V um 75 Ipm höher als der bei der geringeren Empfindlichkeit aufgezeichnete. Als Grundlage der Berechnung (siehe III.B.5) wurde der niedrigere Nulleffekt her-

angezogen, da dieser bei der gleichen Meßgeräteeinstellung wie die für die Versuchsauswertung ausschlaggebende Kryptonabfallkurve gemessen wurde.

Die Nulleffektunterschiede bei den verschiedenen Meßempfindlichkeiten (ohne Kryptonstrahlung) sind damit zu erklären, daß die einzelnen Schreiber unterschiedliche Nullpunktgenauigkeiten aufwiesen,die sich bei den kleinen Zeigerausschlägen (geringe Empfindlichkeit) auswirkten, aber nur unwesentlich bei Voll- bzw. Halbausschlag (Kryptonabfallkurve) zum Tragen kamen.

Während des nun erfolgenden Kryptonausblases wurde die oben beschriebene Ausblasvorrichtung (Druckluftflasche mit Ventil, Gasuhr, Gummischlauch) von der Versuchsperson zwecks schneller Luftdurchmischung durch den Stall getragen, wobei der Ausströmschlauch an der Rückseite der Versuchsperson ca. 80 cm über dem Boden endete. Ein Ausblas dauerte 2 bis 3 min, es wurden dabei 6 bis 9 l Gasgemisch freigesetzt und als Maximalwerte meist Impulsraten bis 10000 Ipm erreicht. Nach Beendigung des Ausblases wurde sofort mit den Psychrometermessungen begonnen, und zwar zuerst im Stall an den Meßplätzen I bis V, dann an dem Aussenmeßplatz VI, darauf die gesamte Runde noch einmal. Nach ca. einer Stunde waren die Anzeigewerte der Kryptonschreiber wieder auf das Niveau des Nulleffektes (natürliche Strahlung) abgefallen.

Der beschriebene zeitliche Versuchsablauf ist zusammenfassend in Tabelle 13 dargestellt.

Zeit	Tätigkeit
0 - 10 min	Ventilatoreneinstellung, Prüfung des Zeitgleichlaufs und der Funktionsbereitschaft der Temperatur- und Feuchteschreiber und Thermohygrographen
10 - 20 min	URAS-Eichung
20 - 35 min	3 Zählrohrspülungen mit Butan
35 - 36 min	Einschalten der Kryptonschreiber und -monitoren
36 - 46 min	Testpräparat
46 - 51 min	Nulleffekt-Prüfung
51 - 54 min	Krypton-85 Ausblas
55 - 100 min	Psychrometermessungen
100 - 110 min	URAS-Eichung

Tab. 13: Zeitliche Reihenfolge des Versuchsablaufs

5. Verfahren zur Berechnung der Grundwerte

Luftwechsel/Luftrate

Zur Errechnung des Luftwechsels im geprüften Stallraum wurde unter Berücksichtigung des Nulleffektes durch Ausmessen der Abfallkurve die Zeit in Minuten bestimmt, in der die Kryptonkonzentration im Raum von einem Wert auf die Hälfte dieses Wertes abfiel (Halbierungszeit t_{50}). In der SEIDEL'schen Formel (BRADTKE u. LIESE 1952) ist der rechnerische Zusammenhang zwischen zugeführter Luftmenge und Konzentrationsabfall des Tracergases in bestimmter Zeit festgelegt. Sie lautet

$$C = 2{,}303\ R\ \lg \frac{C_1}{C_2}$$

C = eingedrungene Luftmenge in m^3 in der Beobachtungszeit
R = Rauminhalt in m^3
C_1 = Tracergaskonzentration bei Beobachtungsbeginn
C_2 = Tracergaskonzentration bei Beobachtungsende

Bei ausschließlicher Benutzung der Halbierungszeit t_{50} vereinfacht sich die Formel zu

$$C = 2{,}303 \; R \; \lg 2 = 0{,}693 \; R$$

Der Luftwechsel LW' in einem Raum in beliebiger Zeit ist definiert als

$$LW' = \frac{C}{R}$$

Für den Luftwechsel LW' in der Halbierungszeit t_{50} gilt dann konstant

$$LW' = \frac{0{,}693 \; R}{R} = 0{,}693$$

Es ist üblich, die Luftwechselzahl LW auf die Zeit von einer Stunde zu beziehen. Wenn t_{50} in Minuten gemessen wird, gilt

$$\frac{LW'}{t_{50}} = \frac{LW}{60}$$

Daraus folgt:

$$LW = \frac{60 \cdot 0{,}693}{t_{50}} = \frac{41{,}58}{t_{50}}$$

Die Halbierungszeit t_{50} wurde anhand der auf den Schreibern verzeichneten Kryptonabfallkurven bestimmt, und zwar als Abstand in cm zwischen einem Anfangspunkt M' der Kurve und dem Kurvenpunkt, bei dem die Hälfte der Kryptonaktivität von M' vorlag. Dabei wurde so verfahren, daß der Kurvenpunkt M' um den Nulleffekt (N) bereinigt wurde (M'-N = M, reine Kryptonaktivität). Der Wert M wurde dann halbiert ($\frac{M}{2}$, halbe Kryptonaktivität). Auf der Kryptonabfallkurve fand sich dieser Punkt nach Addition des Nulleffektes ($\frac{M}{2}$ + N oder $\frac{M' + N}{2}$). Der Abstand M' zu $\frac{M}{2}$ +N war dann die gesuchte Strecke, die bei dem gewählten Papiervorschub des Schreibers (10mm/min) in cm gemessen die Halbierungszeit t_{50} in Minuten angab. Pro Versuch wurde die Halbierungszeit t_{50} zehnmal bestimmt und dann gemittelt.

Die Luftrate V wurde aus dem Luftwechsel LW, dem Stallrauminhalt R und dem Gesamtgewicht der im Stall befindlichen Tiere in Großvieheinheiten (GV) errechnet nach der

Formel

$$V = \frac{LW \cdot R}{GV}$$

Hierzu war R jeden Tag neu zu bestimmen, da durch unterschiedlichen Güllestand der wirkliche Luftraum im Stall leicht schwankte, und zwar lag R zwischen 180 m^3 und 186 m^3. Das Gesamtgewicht der Tiere in Großvieheinheiten (1 GV = 500 kg) wurde ebenfalls für jeden Tag durch Interpolieren der Werte zweier Wägungen (sowohl bei den Vorals auch bei den Hauptversuchen) errechnet. Es lag während der Vorversuche zwischen 2,0 und 2,2 GV und bei den Hauptversuchen zwischen 1,7 und 2,0 GV.

Ein Beispiel für die beschriebene Auswertung geben Abb. 4 und Tabelle 14.

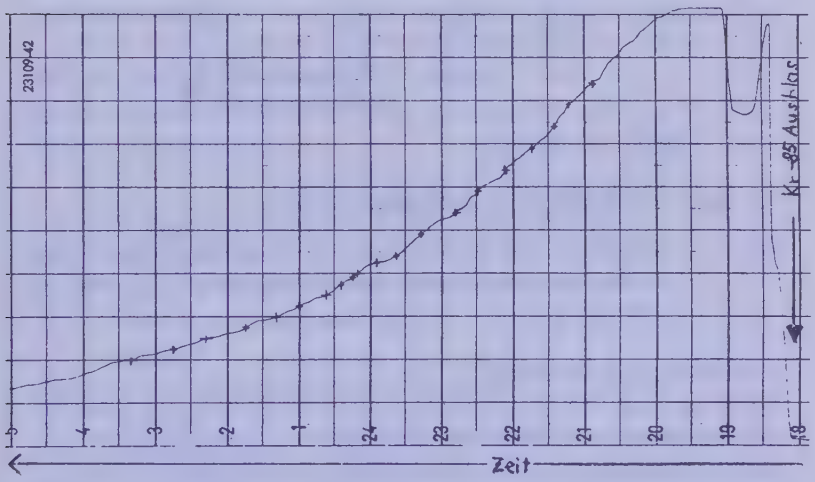


Abb. 4: Krypton-85-Abfallkurve mit eingezeichneten Meßpunkten (verkleinertes Original)

A. BESTIMMUNG DES LUFTWECHSELS/-RATE

Ausblasbeginn : 16^{10} Uhr
Papiervorschub: 60×10 mm/h
Anzeige Testpräparat vor dem Ausblas (Stufe 10) : 6700 Im / 1675 Sklt
Nulleffekt N bei Stufe 10 IpM und T 50: 100 IpM / 0,10 Sklt

Auswertung bei Stufe 10 IpM und T 50:

M'(Sklt)	M(Sklt)	$\frac{M}{2}$(Sklt)	$\frac{M}{2}$+N (Sklt)	Strecke M' bis $\frac{M}{2}$+N (mm)	t_{50} (min)
8,4	8,3	4,15	4,25	60,7	6,07
7,9	7,8	3,90	4,00	59,5	5,95
7,4	7,3	3,65	3,75	59,7	5,97
6,9	6,8	3,40	3,50	57,6	5,76
6,4	6,3	3,15	3,25	58,0	5,80
5,9	5,8	2,90	3,00	56,5	5,65
5,4	5,3	2,65	2,75	58,7	5,87
4,9	4,8	2,40	2,50	60,0	6,00
4,4	4,3	2,15	2,25	62,2	6,22
3,9	3,8	1,90	2,00	60,9	6,09
			Summe	593,8	59,38
			ø	59,38	5,938

$LW = \frac{41,58}{5,938} = 7,0024/h$

$V = \frac{LW \cdot R}{GV} = \frac{7,0024 \cdot 182,57}{1,8894} = 676,63\ m/GVh$

Tab. 14: Beispiel der Auswertung einer Krypton-85-Abfallkurve zur Bestimmung des Luftwechsels LW und der Luftrate V

Temperatur und Feuchte

Als Grundlage der Berechnung der absoluten Feuchte wurden die Psychrometermessungen benutzt. Mit Hilfe der Psychrometertafel nach SONNTAG der Fa. Lambrecht wurde aus den psychrometrisch gemessenen Temperaturen t_1 und t_2 die relative Feuchte bestimmt. Die absolute Feuchte x wurde aus graphischen Darstellungen abgelesen, die nach der Tabelle 12 " Wassergehalt der Luft in g/m^3 bei 725 Torr" der DIN 18910, Entwurf März 1972, S. 11, angefertigt worden waren. Bei jedem Versuch wurden pro Meßstelle mindestens zwei Psychrometermessungen gemacht. Ihre Ergebnisse

wurden für t und φ gemittelt und der Berechnung von x zu Grunde gelegt.

Die Schreibstreifen der Thermohygrographen und der elektrischen Temperatur- und Feuchtefühler dienten zur Beurteilung der Konstanz des Verlaufs von Temperatur und relativer Feuchte während des ganzen Einzelversuchs.

Kohlendioxidgehalt

Grundlage der Auswertung waren die vom URAS kontinuierlich analysierten und vom Schreiber registrierten Kohlendioxidwerte der sechs Meßplätze, und zwar in dem Zeitraum von 36 Minuten vom Ausblas an. Das entspricht drei registrierten Werten pro Meßstelle. Das Mittel dieser drei Messungen wurde für die Berechnung nach dem Kohlendioxidmaßstab benutzt.

Bestimmung der Wasserdampfbildung im Stall

Die Bestimmung der Wasserdampfbildung im Stall erfolgte nach der Gleichung

$$X_{Ti} = (V \cdot \Delta x) - X_P$$

X_{Ti} = Wasserdampfbildung im Stall in g/GVh

V = Luftrate in m^3 / GVh

Δx = $x_i - x_a$ = Differenz aus wasserdampfgehalt der Stallluft und wasserdampfgehalt der Außenluft jeweils in g/m^3

X_P = Wasserdampfabgabe der den Versuch durchführenden Person

Bei der Bemessung der wasserdampfabgabe der Versuchsperson (X_p) wurden die von RIETSCHEL / RAIß 1968 angegebenen, nach der Lufttemperatur differenzierten werte für die wasserdampfabgabe von Menschen in Ruhe zur Grundlage genommen. Sie wurden um 50 % erhöht, da die Person durch ihre Tätigkeit als stoffwechselaktiver anzusetzen war. Die Grundwerte sind in Tab. 15 dargestellt.

Lufttemperatur t_L	°C	16	18	20	22	24	26	28	30
Wasserdampfabgabe G	g/h	31	34	40	48	60	73	88	102

Tab. 15: Wasserdampfabgabe des Menschen bei verschiedenen Lufttemperaturen nach RIETSCHEL / RAIß 1968

Bestimmung der Kohlendioxidbildung im Stall

Die Kohlendioxidbestimmung erfolgte in gleicher weise wie die Bestimmung der wasserdampfbildung, nach der Formel

$$K_{Ti} = (V \cdot \Delta k) - K_P$$

K_{Ti} = Kohlendioxidbildung im Stall in l/GVh

V = Luftrate in m^3/GVh

$\Delta k = k_i - k_a$ = Differenz aus Kohlendioxidgehalt der Stallluft und Kohlendioxidgehalt der Außenluft jeweils in l/GVh

K_P = Kohlendioxidabgabe der den Versuch durchführenden Person.

Zur Bemessung von K_P wurde ein Mittelwert aus drei Leerversuchen zur Grundlage genommen. Er betrug 15 l/h und ist im Vergleich zu der Angabe von RIETSCHEL / RAIß (20 l/h) als realistisch anzusehen, da die Versuchsperson nicht während der ganzen Meßzeit im Stall war.

c) Ergebnisse

Die Versuche waren in drei Abschnitte gegliedert, und zwar in

1. 12 Vorversuche (mit Tieren),
2. 26 Hauptversuche (mit Tieren) und
3. 9 ergänzende Versuche im Stall ohne Tiere.

Die Vorversuche wurden im Sommer (5. bis 12. Juni) durchgeführt. Im Herbst folgten die Hauptversuche (2. bis 13. November) und die ergänzenden Versuche (15. bis 17. November).

1. Vorversuche

a) Versuchsbedingungen bei den Vorversuchen

Bei den Vorversuchen war der Stall durchgehend mit 22 Mastschweinen belegt, deren Durchschnittsgewicht während der Versuchszeit von etwa 45 kg auf etwa 50 kg anstieg. Die Gesamtstallbelegung lag in dieser Zeit zwischen 1,88 GV und 2,2 GV, der pro Großvieheinheit verfügbare Luftraum zwischen 90 m^3 und 82 m^3. Die Einzelangaben sind in Tabelle 16 zusammengestellt.

Tag	Versuchs-nummer	Gesamtbelegung pro Stall	Ø Tier-gewicht	Tier-zahl
5.6.	1	1,99 GV	45,2 kg	22
6.6.	2 - 5	2,02 GV	45,9 kg	22
7.6.	6 - 7	2,05 GV	46,6 kg	22
8.6.	8	2,08 GV	47,3 kg	22
9.6.	9 - 10	2,11 GV	48,0 kg	22
12.6.	11 - 12	2,21 GV	50,0 kg	22

Tab. 16: Stallbelegung bei den Vorversuchen, errechnet aus den Wägungen vom 25.5. und 8.6.

Das Wetter war bei den Vorversuchen im allgemeinen sonnig bis leicht bedeckt und relativ windstill. Die Außentemperaturen variierten von +16° C (nachts) bis +30° C (tags), die Maxima lagen mittags bis frühnachmittags. In der Zeit von 9 Uhr bis 19 Uhr lagen die Außentemperaturen im allgemeinen im Bereich der Stalltemperatur oder darüber, in der übrigen Zeit unter der Stallufttemperatur. Die Stallufttemperatur variierte im Tagesverlauf meist um ± 1 bis 2° C in Annäherung an die Außentemperatur und lag an heisseren Tagen höher als an kälteren.

Die relative Feuchte der Außenluft lag nachts meist zwischen 70 % und 80 %, tagsüber zwischen 40 % und 60 %. Die relative Feuchte der Stalluft folgte in gewissem Maße der der Außenluft, zeigte aber stallspezifische Maxima von 70 - 80 %, und zwar jeweils nach den Stallarbeiten (Füttern und Reinigen) vor allem morgens (9 - 12 Uhr), außerdem nachmittags (ca. 14 Uhr). Im weiteren Verlauf des Nachmittags fiel die relative Feuchte ab und erreichte meist gegen 21 Uhr den Wert der Außenfeuchte. Danach lag die Feuchtigkeit im Stall bis morgens (ca. 8.30 Uhr) unter der der Außenluft.

b) Einzel- und Durchschnittsergebnisse der Vorversuche

Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 zusammengefaßt.

Versuchs-Nr.	Ausblaszeit	LW n/h	t_i °C	φ_i %	t_a °C	φ_a %	x_{Ti} g/GVh	K_{Ti} l/GVh
1	15.20	6,4	24,6	63	28,0	35	2570	348,6
2	11.11	6,6	24,5	76	27,5	49	2275	348,6
3	12.50	6,9	25,3	65	29,5	41	2114	324,6
4	14.48	7,2	25,6	63	30,4	36	2574	413,5
5	16.37	7,3	25,7	61	28,6	43	1690	370,3
6	12.55	7,7	22,4	65	18,6	58	2261	358,5
7	15.17	7,5	22,7	65	19,8	55	2393	414,5
8	12.56	7,3	21,2	73	16,2	64	2794	293,3
9	12.24	7,6	22,1	54	19,4	39	2540	368,9
10	14.25	7,0	22,3	54	20,0	37	2422	351,4
11	12.17	7,2	21,8	80	18,5	82	1382	345,6
12	14.34	7,9	22,8	79	17,8	80	1954	418,6
						n	12	12
						$\bar{x}$	2247	363
						s	± 406	± 38
						v	± 18,1 %	± 10,4 %

Tab. 17: Einzel- und Durchschnittsergebnisse der wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei den Vorversuchen

Die Ergebnisse zeigen eine sehr starke Streuung der Wasserdampf- und der Kohlendioxidbildung. Der Variationskoeffizient liegt für A_{Ti} bei 18,1 %, für K_{Ti} bei 10,4 %. Da der Luftwechsel nur in relativ engen Grenzen schwankt, kann angenommen werden, daß die große Streuung nicht primär von methodischen Faktoren abhängt. Als Ursache werden daher die wechselnden Versuchsbedingungen, wie unterschiedliche Tageszeit, Klimasituation und Stallbelegung vermutet. Eine Beziehung zwischen der Höhe der Wasserdampf- und der Kohlendioxidbildung ist nicht festzustellen.

c) Einflußfaktoren auf die Ergebnisse der Vorversuche

Die obengenannte Vermutung wird im folgenden für die Faktoren Temperatur der Stalluft, relative Feuchte der Stalluft, Tiergewicht und Tageszeit überprüft.

Für die Prüfung des Einflusses der Temperatur der Stalluft wurden die Ergebnisse in zwei Temperaturbereiche eingeteilt, auf Standardabweichung und Variationskoeffizienten geprüft und diese den entsprechenden Werten der gesamten Vorversuchsserie gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengestellt.

Temperatur-bereich	21,2-25,7 °C (Gesamtserie)	21,2-22,8 °C	24,5-25,7 °C
	Wasserdampfbildung g/GVh		
n	12	7	5
$\bar{x}$	2247	2249	2245
s	± 406	± 460	± 367
v	± 18,1 %	± 20,5 %	± 16,4 %
	Kohlendioxidbildung 1/GVh		
n	12	7	5
$\bar{x}$	363	364	361
s	± 38	± 43	± 34
v	± 10,4 %	± 11,8 %	± 9,3 %

Tab. 18: Vergleich der Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Wasserdampf- und der Kohlendioxidbildung in verschiedenen Temperaturbereichen. 12 Vorversuche gegliedert in 2 Gruppen.

Es zeigt sich, daß die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Untergruppen sowohl über als auch unter, im Mittel bei den Werten der Gesamtserie liegen. Auch die Durchschnittswerte für Wasserdampf und Kohlendioxid zeigen bei den Untergruppen keine klar abweichende Tendenz gegenüber der Gesamtserie. Bei Benutzung dieses einfachen Prüfverfahrens läßt sich kein Einfluß der Stallufttemperatur auf die Versuchsergebnisse feststellen.

Sinngemäß erfolgte die Prüfung des Einflusses der relativen Feuchte der Stalluft. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 19.

relative Feuchte	54% - 82% (Gesamtserie)	54% - 65%	73% - 82%
	Wasserdampfbildung g/GVh		
n	12	8	4
$\bar{x}$	2247	2321	2101
s	± 406	± 301	± 591
v	± 18,1 %	± 13,0 %	± 28,1 %
	Kohlendioxidbildung l/GVh		
n	12	8	4
$\bar{x}$	363	369	352
s	± 38	± 31	± 51
v	± 10,4 %	± 8,5 %	± 14,6 %

Tab. 19: Vergleich der Standardabweichungen und Variationskoeffizienten von Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei unterschiedlicher relativer Feuchte. 12 Vorversuche gegliedert in 2 Gruppen.

Die Mittelwerte für die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung liegen bei der Untergruppe mit der hohen relativen Feuchte niedriger als bei den anderen Gruppierungen, aber gerade bei diesen Versuchen ist die Streuung besonders groß. Das liegt zum einen an der Höhe der absoluten Schwankungen, zum andern an der geringen Anzahl (4) der Einzelversuche in dieser Gruppe. Es läßt sich kein Einfluß der relativen Feuchte der Stalluft auf die Höhe der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung zeigen.

Bei der Prüfung des Einflusses des durchschnittlichen Tiergewichtes deutet sich aus Tabelle 20 das zu erwartende Ergebnis von geringerer Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung schwererer Tiere in Bezug auf die Gewichtseinheit an. Der Vergleich der Standardabweichungen und Variations-

koeffizienten läßt aber wiederum nur die Aussage zu, daß zwischen der Höhe der wasserdampf- und Kohlendioxidbildung und dem Tiergewicht keine Beziehung nachgewiesen werden konnte.

durchschnittl. Tiergewicht	45,2 - 50,0 kg (Gesamtserie)	45,2 - 46,6 kg	47,3 - 50,0 kg
	Wasserdampfbildung g/GVh		
n	12	7	5
$\bar{x}$	2247	2268	2218
s	± 406	± 305	± 558
v	± 18,1 %	± 13,4 %	± 25,2 %
	Kohlendioxidbildung l/GVh		
n	12	7	5
$\bar{x}$	363	368	356
s	± 38	± 34	± 45
v	± 10,4 %	± 9,2 %	± 12,7 %

Tab. 20: Vergleich der Standardabweichungen und Variationskoeffizienten von Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei unterschiedlichem Tiergewicht. 12 Vorversuche gegliedert in 2 Gruppen.

Zur Prüfung des Einflusses der Tageszeit wurden die tageszeitlich nahe beieinanderliegenden Versuche zu insgesamt vier Gruppen (A-D) zusammengefaßt. Als Ausblaszeit (Versuchszeit) für jede Gruppe wurde das Mittel der Ausblaszeiten in der jeweiligen Gruppe benutzt. Die Mittelwerte, Standardabweichungen und Variationskoeffizienten sind in Tabelle 21 zusammengestellt.

Ausblas-zeit	11.57 Uhr A	12.54 Uhr B	14.36 Uhr C	15.45 Uhr D
	Wasserdampfbildung in g/GVh			
n	3	3	3	3
$\bar{x}$	2066	2390	2317	2218
s	± 607	± 358	± 323	± 465
v	± 29,4 %	± 15,0 %	± 14,0 %	± 21,0 %
	Kohlendioxidbildung in l/GVh			
n	3	3	3	3
$\bar{x}$	354	325	395	378
s	± 13	± 33	± 37	± 34
v	± 3,6 %	± 10,0 %	± 9,5 %	± 8,9 %

Tab. 21: Vergleich der Standardabweichungen und Variationskoeffizienten von Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei unterschiedlichen Ausblaszeiten. 12 Vorversuche gegliedert in 4 Gruppen.

Die graphische Darstellung des tageszeitlichen Verlaufs der gemessenen Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung zeigt Abbildung 5.

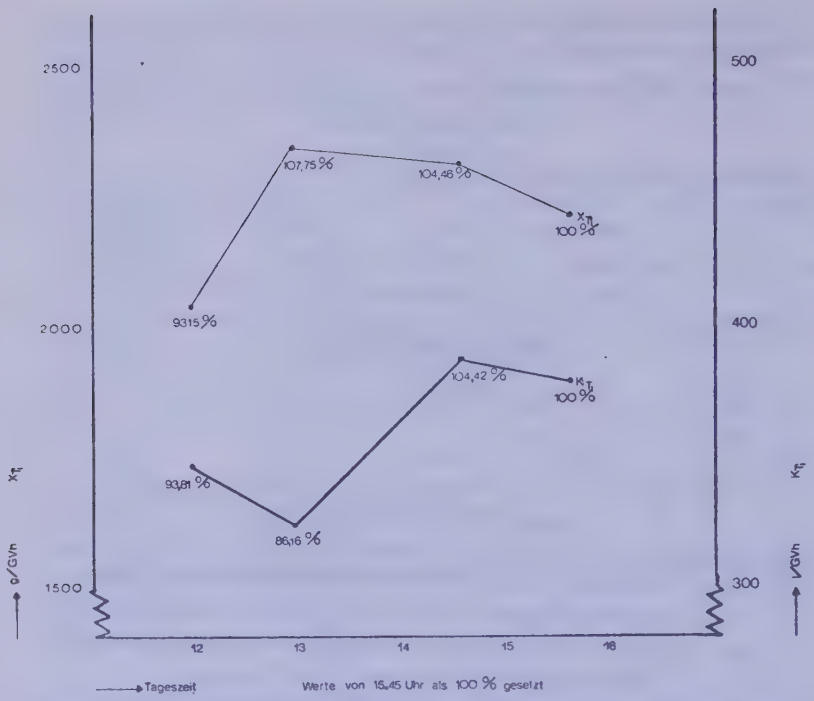


Abb. 5: Tageszeitlicher Verlauf der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei den 12 Vorversuchen

Aufgrund der Darstellungen lassen sich folgende Aussagen machen:

Die WASSERDAMPFBILDUNG variiert bei den Zeitgruppen A und D relativ mehr als bei den gesamten Vorversuchen (s_{ges}= ± 406 g/GVh), dagegen liegen Standardabweichung und Variationskoeffizient der Gruppen B und C deutlich unter denen der Gesamtserie. Diese beiden Gruppen sind tageszeitlich auch sehr homogen, und zwar liegen frühester und spätester Versuch nur um 5 min (Gruppe B) bzw. 24 min (Gruppe C) auseinander. Dieses unterscheidet sie deutlich von den Gruppen A und D. Hier liegen zwischen erstem und letztem Versuch größere tageszeitliche Diffe-

renzen, und zwar 73 min bei Gruppe A und 80 min bei Gruppe D. Dieses ist meines Erachtens der Hauptgrund für die erhebliche Streuung bei diesen Zeitgruppen. Das wird dadurch unterstrichen, daß der späteste Versuch der Gruppe D am stärksten aus dieser herausfällt. Bei Gruppe A weicht der Versuch besonders vom Durchschnitt ab, der ohne die sonst am Vormittag vorhergehenden Stallreinigungsarbeiten durchgeführt wurde. Insgesamt zeigt diese Analyse eine deutliche Tageszeitabhängigkeit der Wasserdampfbildung. Der Verlauf kennzeichnet sich als Kurve mit dem Maximum bei 12.54 Uhr (108 % gegenüber den 100 % des 15.45 Uhr-Wertes), Minimum und Maximum unterscheiden sich um ca. 15 %.

Bei der KOHLENDIOXIDBILDUNG ist die Tageszeitabhängigkeit noch deutlicher zu erkennen. Hier liegen die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten aller Tageszeitgruppen unter den entsprechenden Werten der Gesamtserie (s. Tab. 17), allerdings in unterschiedlichem Maße. Das Maximum liegt hier später als bei der Wasserdampfbildung, und zwar bei der Gruppe C mit 104,4 % gegen die 100 % um 15.45 Uhr. Minimum und Maximum der Gesamtkurve unterscheiden sich um ca. 18 %.

d) Folgerungen für die Hauptversuche

Es deutet sich an, daß die verschiedenen möglichen Einflußfaktoren auf die Höhe der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung unterschiedlich stark zum Tragen kommen, sich z. T. eventuell ergänzen oder auch gegensinnig wirken. Eine klare Trennung der Wirkung der einzelnen Faktoren konnte wegen dieser Überlagerung nicht vorgenommen werden. Lediglich der Einfluß der Tageszeit wurde deutlich erkannt.

Nach diesen Befunden erschien es mir erforderlich, bei den Hauptversuchen die Tageszeitabhängigkeit besser her-

auszuarbeiten, um einerseits ihren quantitativen Anteil an den Schwankungen der Versuchsergebnisse festzustellen, andererseits Interferenzen zu den anderen Einflußfaktoren zu klären und diese damit eventuell besser abzugrenzen. Deshalb wurden bei der Planung der Hauptversuche gleichbleibende Ausblaszeiten festgelegt. Darüber hinaus wurde die Versuchszahl erhöht.

2. Hauptversuche

a) Versuchsbedingungen bei den Hauptversuchen

Bei den Hauptversuchen betrug die Tierzahl 24 bzw. 23 Schweine mit einem Durchschnittsgewicht von 36 kg bis 43 kg. Die Gesamtstallbelegung lag zwischen etwa 1,7 GV und 2,0 GV, der pro Großvieheinheit verfügbare Luftraum zwischen 104 m^3 und 91 m^3. Die Einzelangaben finden sich in Tabelle 22.

Tag	Versuchs-nummer	Gesamtbelegung pro Stall	Ø Tier-gewicht	Tier-zahl
2.11.	13	1,73 GV	36,0 kg	24
3.11.	14 - 15	1,76 GV	36,7 kg	24
6.11.	16 - 19	1,85 GV	38,5 kg	24
7.11.	20 - 23	1,88 GV	39,2 kg	24
8.11.	24 - 27	1,91 GV	40,0 kg	24
9.11.	28 - 31	1,94 GV	40,5 kg	24
10.11.	32	1,97 GV	41,0 kg	24
10.11.	33 - 35	1,89 GV	41,0 kg	23
13.11.	36 - 38	1,98 GV	43,0 kg	23

Tab. 22: Stallbelegung bei den Hauptversuchen, extrapoliert auf der Basis von Wägungen am 20.10. und 3.11.

Der Himmel war bedeckt, häufiger Regen und starker Wind. Die Außentemperatur in diesem Zeitraum variierte zwischen + 10° C (tags) und + 3° C (nachts), die Innentemperatur um + 20° C ± 2° C.

Die relative Feuchte war außen regelmäßig hoch (zwischen 85 % und 100 %), nur ausnahmsweise um 70 %. Im Stall lag die relative Feuchte zwischen 65 % und 80 %, wobei die Maxima nach den Stallarbeiten (8.00-9.00 Uhr und 14.00-15.00 Uhr) auftraten. Ab etwa 23.00 Uhr wurden im Stall im allgemeinen die Minimalwerte (65 % - 70 %) erreicht, die bis zum Morgenmaximum fast unverändert blieben.

b) Einzel- und Durchschnittsergebnisse der Hauptversuche

Die Ergebnisse der 26 Messungen dieses Versuchsabschnittes sind in Tabelle 23 zusammengefaßt.

Versuchs-Nr.	Ausblaszeit	LW n/h	t_i °C	φ_i %	t_a °C	φ_a %	X_{Ti} g/GVh	K_{Ti} l/GVh
13	16.10	6,2	20,6	70	10,0	93	2276	465,0
14	16.10	6,1	20,0	64	8,5	88	2103	408,2
15	18.10	7,2	20,3	59	8,3	87	2161	500,4
16	12.10	6,9	20,5	69	11,2	91	1980	281,6
17	16.10	7,1	21,5	69	11,3	92	2387	449,2
18	18.10	7,2	21,9	62	11,1	92	1800	480,8
19	20.10	7,2	22,2	58	11,1	91	1437	466,1
20	12.10	7,1	22,4	55	13,0	80	1236	306,0
21	16.10	7,0	22,3	66	12,2	85	2402	445,3
22	18.10	7,1	22,5	59	11,8	82	1934	520,8
23	20.10	7,0	22,8	54	11,4	82	1549	465,7
24	12.10	7,2	22,1	54	10,2	78	2014	368,3
25	16.10	7,3	21,8	61	9,1	87	2543	435,0
26	18.10	7,2	21,9	58	8,6	90	2223	547,8
27	20.10	7,2	22,0	56	8,5	94	1776	463,4
28	12.10	7,2	20,5	67	9,9	75	3210	320,3
29	16.10	7,4	21,2	58	9,6	73	2565	452,8
30	18.10	7,3	21,7	57	9,2	83	2175	518,0
31	20.10	7,3	22,0	55	9,4	92	1476	437,7
32	12.10	7,0	22,1	50	12,0	71	1255	290,7
33	16.10	6,9	22,1	57	10,9	75	2272	430,2
34	18.10	7,0	22,5	55	9,8	79	2135	534,8
35	20.10	6,9	22,7	50	9,7	81	1574	444,0
36	16.10	7,9	19,6	57	6,8	85	2036	457,9
37	18.10	8,1	19,6	55	5,1	91	2059	506,5
38	20.10	8,2	19,7	49	5,2	89	1451	440,9

Tab. 23: Einzel- und Durchschnittsergebnisse der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei den Hauptversuchen

n	26	26
$\bar{x}$	2002	440
s	$\pm$ 457	$\pm$ 73
v	$\pm$ 22,8%	$\pm$ 16,6%

Die Luftwechselzahlen liegen zwischen 6,1 und 8,2fach/h, das Mittel bei 7,2fach/h, die Extremwerte weichen somit um ca. ± 14 % vom Mittelwert ab. Dagegen zeigen die Wasserdampf- und Kohlendioxidwerte erheblich größere Unterschiede. Bei der Wasserdampfbildung liegt der Minimalwert 38 % unter und der Maximalwert 60 % über dem Mittelwert; Minimal- zu Maximalwert verhalten sich wie 1 : 2,6 (Versuch 20 und 28). Bei der Kohlendioxidbildung liegt der Minimalwert 36 % unter und der Maximalwert 24 % über dem Mittelwert; Minmal- zu Maximalwert verhalten sich wie 1: 1,95 (Versuch 16 und 26). Die Streuung ist grösser als bei den Vorversuchen, was z. T. sicherlich mit der längeren erfaßten Tagesspanne zu begründen ist. Die Wasserdampfwerte liegen im Durchschnitt um 10 % niedriger als die Werte der Vorversuche, die Kohlendioxidwerte um 20 % höher. Eine Beziehung zwischen der Höhe der Wasserdampf- und der Kohlendioxidbildung ist nicht festzustellen.

c) Prüfung des Einflusses des Stallklimas

Zur Überprüfung einer möglichen Einflußnahme des Stallklimas auf die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung wurde wie bei den Vorversuchen verfahren: die Ergebnisse wurden in Temperatur- bzw. Feuchtebereiche eingeteilt, und zwar so, daß die einzelnen Gruppen eine annähernd gleiche Anzahl von Einzelversuchen (n) enthielten. Die Gruppen wurden dann auf Standardabweichung und Variationskoeffizient geprüft und diese den entsprechenden Werten der gesamten Hauptversuchsserie gegenübergestellt. Tabelle 24 zeigt die Ergebnisse für die Stallufttemperatur.

	Temperaturbereich t_i			
	19,6-22,8 °C (Gesamtserie)	19,6-20,8 °C	20,9-22,0 °C	22,1-22,8 °C
	Wasserdampfbildung X_{Ti} g/GVh			
n	26	8	8	10
$\bar{x}$	2002	2159	2120	1781
s	± 457	± 489	± 399	± 424
v	± 22,8 %	± 22,7 %	± 18,8 %	± 23,8 %
	Kohlendioxidbildung K_{Ti} l/GVh			
n	26	8	8	10
$\bar{x}$	440	426	482	435
s	± 73	± 80	± 40	± 82
v	± 16,6 %	± 18,8 %	± 8,5 %	± 18,8 %

Tab. 24: Vergleich der Standardabweichungen und Variationskoeffizienten von Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei verschiedenen Temperaturbereichen. 26 Hauptversuche gegliedert in 3 Gruppen.

Beim Wasserdampf zeigt sich für die Mittelwerte der Temperaturgruppen ein Abfall von X_{Ti} von den niedrigeren zu den höheren Temperaturen. Die geprüften Streuungsmaße der einzelnen Gruppen liegen aber im Mittel bei denen der Gesamtgruppe. Beim Kohlendioxid zeigen die Mittelwerte keine einheitlich steigende oder fallende Tendenz. Bei der mittleren Temperaturgruppe liegen zwar Standardabweichung und Variationskoeffizient unter denen der Gesamtserie, bei den beiden anderen Gruppen aber darüber. Es läßt sich hieraus kein Einfluß der Stalluft-temperatur auf die Höhe der Wasserdampf- oder der Kohlendioxidbildung erkennen.

Tabelle 25 zeigt die entsprechenden Zusammenstellungen für drei Bereiche der relativen Feuchte.

	relative Feuchte φ_i			
	49 %-70 % (Gesamtserie)	49 %-55 %	56 %-59 %	60 %-70 %
	Wasserdampfbildung X_{Ti} g/GVh			
n	26	9	9	8
$\bar{x}$	2002	1639	2066	2338
s	± 457	± 344	± 327	± 429
v	± 22,8 %	± 21,0 %	± 15,8 %	± 18,3 %
	Kohlendioxidbildung K_{Ti} l/GVh			
n	26	9	9	8
$\bar{x}$	440	429	492	416
s	± 73	± 84	± 39	± 71
v	± 16,6 %	± 19,6 %	± 7,9 %	± 17,0 %

Tab. 25: Vergleich der Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei unterschiedlicher relativer Feuchte. 26 Hauptversuche gegliedert in 3 Gruppen.

Beim Kohlendioxid streut die mittlere Feuchtegruppe (56 % - 59 %) zwar erheblich weniger als die Gesamtserie, ein eindeutiger Einfluß der relativen Feuchte auf die Kohlendioxidbildung ist aber nicht festzustellen. Dagegen ergibt sich für den Wasserdampf folgendes: Die Mittelwerte liegen stetig steigend bei höherer relativer Feuchte höher als bei niedrigerer. Die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Untergruppen liegen unter den entsprechenden Werten der Gesamtserie. Um den sich hier abzeichnenden Zusammenhang noch genauer zu untersuchen, wurde eine weitere Zusammenstellung angefertigt. Die gemessenen Wasserdampfwerte wurden in

Feuchtegruppen sortiert, die alle die gleiche Gruppenbreite (5 % relative Feuchte) aufweisen, was zur Folge hatte, daß die Gruppen mit einer unterschiedlichen Anzahl von Versuchen besetzt waren. In den Bereichen 45 % - 50 % und über 70 % befanden sich jeweils nur ein Versuch. Eine Untersuchung der Streuung war hier also nicht möglich, diese beiden Versuche sind deshalb im folgenden nicht aufgeführt. Die restlichen Ergebnisse sind in Tabelle 26 dargestellt.

	relative Feuchte φ_i			
	50 % - unter 55 %	55 % - unter 60 %	60 % - unter 65 %	65 % - unter 70 %
	Wasserdampfbildung X_{Ti} g/GVh			
n	4	13	3	4
$\bar{x}$	1598	1962	2149	2495
s	± 313	± 383	± 374	± 515
v	± 19,6 %	± 19,5 %	± 17,4 %	± 20,7 %

Tab. 26: Vergleich der Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Wasserdampfbildung bei vier Feuchtebereichen. 26 Hauptversuche gegliedert in 4 Gruppen.

Auch hier zeigt sich, daß die Mittelwerte der Wasserdampfbildung bei höherer relativer Feuchte steigen. Die Standardabweichungen liegen bei drei der vier Feuchtegruppen deutlich unter der Standardabweichung der Gesamtserie (± 457), lediglich bei der Gruppe mit den absolut höchsten Werten (65 % - 70 %) höher als diese. Die Variationskoeffizienten sind bei allen vier Feuchtegruppen kleiner als der der Gesamtserie (± 22,8 %).

Für die Hauptversuche kann daher festgestellt werden, daß eine hohe Wasserdampfbildung bei hohen relativen Luftfeuchtigkeiten im Stall gemessen wurde. Da das in Widerspruch zu den Literaturangaben zu stehen scheint und mit den speziellen Haltungsbedingungen im Versuchsstall zusammenhängt, wird dieser Punkt in der Besprechung im Abschnitt IV C (Bedeutung des Einflusses von Haltungsform und Betriebsablauf) angesprochen.

d) Prüfung des Einflusses des durchschnittlichen Tiergewichtes

In Tabelle 27 sind die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der gemessenen Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung in Tiergewichtsgruppierungen dargestellt.

	∅ Tiergewicht		
	36,0 - 43,0 kg (Gesamtserie)	36,0 - 39,2 kg	40,0 - 43,0 kg
	Wasserdampfbildung X_{Ti} g/GVh		
n	26	11	15
$\bar{x}$	2002	1933	2052
s	± 457	± 391	± 508
v	± 22,8 %	± 20,2 %	± 24,7 %
	Kohlendioxidbildung K_{Ti} l/GVh		
n	26	11	15
$\bar{x}$	440	441	451
s	± 73	± 76	± 73
v	± 16,6 %	± 17,2 %	± 16,1 %

Tab. 27: Vergleich der Standardabweichungen und Variationskoeffizienten von Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei unterschiedlichem durchschnittlichen Tiergewicht . 26 Hauptversuche gegliedert in 2 Gruppen.

Der Vergleich der Mittelwerte ergibt bei den schwereren Tieren für Wasserdampf und Kohlendioxid etwas höhere Werte. Der gleichgroße Variationskoeffizient in der Gesamtserie und den Einzelgruppen macht es aber unwahrscheinlich, daß bei meinen Untersuchungen tatsächlich ein Zusammenhang in diesem Sinne besteht. Bestärkt wird diese Meinung dadurch, daß die festgestellten Unterschiede der theoretischen Erwartung entgegenstehen.

3. Ergänzende Versuche im Stall ohne Tiere

a) Allgemeine Klimasituation

Der Himmel war immer bedeckt, häufiger Regen, sehr windig bis stürmisch. Die Außentemperaturen lagen zwischen + 1° C und + 6° C, die Stalltemperaturen zwischen + 17° C und + 19° C. Die Außenfeuchte betrug 100 % bis 85 %, die Innenfeuchte zweimal nach der Naßreinigung 80 %, sonst um 40 % bis 50 %.

b) Ergebnisse der ergänzenden Versuche

Die ergänzenden Versuche gliedern sich in zwei Gruppen. Gruppe I mit Gülle in der Güllegrube wurde am 15.11. (Versuche Nr. 39 - 41) und am 16.11. (Versuche Nr. 42 -47) durchgeführt. Am 17.11. wurde morgens die Gülle, deren Gesamtmenge 5,73 m^3 und deren Oberfläche in den Güllegruben 18,2 m^2 betrug, abgelassen und der Stall gründlich naßgereinigt. Nachmittags erfolgten dann die Versuche der Gruppe II ohne Gülle in der Güllegrube. Die Ergebnisse der neun Versuche sind in Tabelle 28 zusammengestellt. Die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei den ergänzenden Versuchen wurde zum Zwecke der besseren Vergleichbarkeit mit den Hauptversuchen wieder auf Großvieheinheit und Stunde bezogen. Als Stallbelegung wurde der Wert der letzten Versuche mit Tieren (1,98 GV) angesetzt.

Versuchs-Nr.	Ausblaszeit	LW n/h	t_i °C	φ_i %	t_a °C	φ_a %	A_{Ti} g/GVh	K_{Ti} 1/GVh
	Gruppe I, Versuche mit Gülle in der Güllegrube							
39	16.10	7,0	17,0	61	3,6	73	2545	15,5
40	18.10	7,0	17,6	49	3,2	81	1448	5,3
41	20.10	7,1	18,0	41	2,9	79	932	12,1
42	16.10	6,9	18,3	39	2,5	77	935	11,4
43	18.10	7,1	18,4	38	2,5	82	735	10,5
44	20.10	7,1	18,3	39	1,5	94	597	9,2
						n	6	6
						$\bar{x}$	1198	10,7
						s	± 720	± 3,4
						v	± 60 %	±38,6 %
	Gruppe II, Versuche ohne Gülle in der Güllegrube							
45	16.10	6,6	17,5	47	2,6	86	1167	8,8
46	18.10	6,6	17,8	42	2,3	85	814	6,2
47	20.10	6,6	17,9	41	2,4	88	646	7,5
						n	3	3
						$\bar{x}$	876	7,5
						s	± 266	± 1,3
						v	± 30 %	± 17,3 %

Tab. 28: Einzel- und Durchschnittsergebnisse der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei den ergänzenden Versuchen

Tabelle 28 zeigt, daß die ermittelten Wasserdampf- und Kohlendioxidmengen erheblich unter den Werten bleiben, die im belegten Stall gefunden wurden. Obwohl der Luftwechsel relativ einheitlich ist, zeigen die Ergebnisse bei den Versuchen mit Gülle (Gruppe I) eine besonders große Streuung, die erheblich über der der Vor- und Hauptversuche liegt. Bei den Versuchen ohne Gülle im Stall (Gruppe II) ist die Streuung geringer. Die gegenüber den Versuchen mit Tieren größere Streuung kann zum einen mit der geringeren Versuchszahl, zum anderen be-

züglich der Wasserdampfbildung mit dem nach dem Wegfall der tiereigenen Wasserdampfbildung besonders wirksam werdenden Einfluß der Naßreinigung auf die Höhe der Wasserdampfbildung erklärt werden.

Die WASSERDAMPFBILDUNG zeigt nicht nur die bei weitem höchste Streuung, sondern auch einen deutlichen Abfall in der Folge der ersten 6 (Gruppe I) und der letzten 3 Versuche (Gruppe II). Dieser Abfall erfolgt aber nicht kontinuierlich, sondern wird zweimal unterbrochen. Und zwar ergeben sich bei den Versuchen 42 und 45 jeweils neue Maxima, nach denen die ermittelte Wasserdampfbildung wieder geringer wird. Das erklärt sich auf einfache Weise: Vor Versuch 39 war der Stall sehr gründlich mit Wasser gereinigt worden, der Stallboden und die Wände dementsprechend sehr naß, was eine hohe Wasserverdunstung zur Folge hatte. Am Tage darauf war der Stall vor Versuch Nr. 42 einer weiteren, aber leichteren Reinigung unterzogen worden, nach der sich der Stallboden teilweise naß zeigte. Am Tage der letzten drei Versuche war die Gülle abgelassen und der Stall wieder sehr gründlich mit Wasser gereinigt worden. Hieraus läßt sich ableiten, daß eine intensive Naßreinigung im Stall einen großen Einfluß auf die Höhe der ermittelten Wasserdampfbildung hatte. Mit größer werdendem Zeitabstand von der Reinigung wurde die Wasserdampfbildung geringer (Abtrocknung). Dieser Faktor überlagert völlig den Anteil der Wasserdampfbildung, der von der im Stall gelagerten Gülle zu erwarten ist. Dieses wird auch aus Abbildung 6 deutlich, in der die zeitliche Abfolge von Reinigungsarbeiten und nachlassender Wasserdampfbildung dargestellt ist. Es ist daher nicht sinnvoll, aus den neun ergänzenden Versuchen eine Aussage über die Höhe der Wasserdampfentstehung aus der Gülle zu machen.

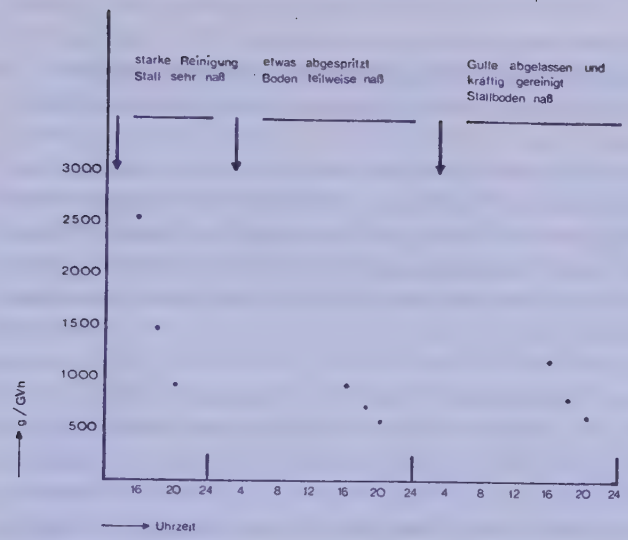


Abb. 6: Zeitliche Folge der Reinigungsarbeiten und der Wasserdampfbildung bei den ergänzenden Versuchen

Bei der KOHLENDIOXIDBILDUNG lassen sich andere Verhältnisse erkennen. Für beide Versuchsgruppen (mit und ohne Gülle) werden keine Zusammenhänge zu den Stallreinigungsarbeiten deutlich, die festgestellten Schwankungen stehen mit diesen nicht in einem erkennbaren zeitlichen Zusammenhang. Daher erscheint es mir vertretbar, durch den Vergleich der Versuche mit und ohne Gülle in der Güllegrube eine Aussage über den Einfluß der Gülle auf die Kohlendioxidbildung im Stall zu machen. Die aus der Gülle abgegebene Kohlendioxidmenge wäre demnach die Differenz der Kohlendioxidbildung zwischen Gruppe I und II.

Hierzu ist noch folgende Erklärung notwendig: Bei der Bemessung der Kohlendioxidbildung der die Versuche durchführenden Person bin ich davon ausgegangen, daß im gülle-

freien, gründlich gereinigten und relativ stark belüfteten Stall (LW 6 bis 7) keine nennenswert über der Außenluft liegende Kohlendioxidkonzentration zu erwarten ist. Die bei den letzten drei Versuchen ermittelte und auf den Gesamtstall und Stunde bezogene Kohlendioxidbildung wurde deshalb der Versuchsperson zugeschrieben (s. auch Methodik S. 40), sie liegt mit ca. 15 l/h im Bereich der Literaturangabe von RIETSCHEL/RAIß (ca. 20 l/h). Dieser Wert, dividiert durch die jeweilige Stallbelegung in GV, wurde bei allen vorhergehenden Versuchen abgezogen, mit Ausnahme der Ergebnisse von Gruppe II der hier besprochenen Versuche.

Nach diesen Überlegungen ist der in Tabelle 28 für die Gruppe I angegebene Wert der Kohlendioxidbildung $\bar{x}$ = 10,7 l CO_2 / GVh der Kohlendioxidbildung aus der Gülle gleichzusetzen. Bei der hier benutzten fiktiven Belegung des Stalles von 1,98 GV entspricht das einer stündlichen Kohlendioxidbildung von 21 l CO_2 im Stall. Da die Gesamtmenge der im Stall gelagerten Gülle 5,73 m^3 betrug, ergibt sich eine Kohlendioxidbildung von ca. 3,7 l/h und m^3 Gülle. Die Gülle war seit 12 Tagen angestaut, hatte eine Temperatur von 15° C und eine Gesamtoberfläche von 18,2 m^2.

IV. B E S P R E C H U N G

A) Vergleich der Tagesdurchschnittswerte der eigenen Versuche mit anderen experimentellen Befunden

Die Kenntnis der Gasbildung, insbesondere der Wasserdampfbildung, in Stallungen ist Voraussetzung zur Bestimmung einer angemessenen Lüftung. Bei der Planung des Lüftungsumfanges eines Stalles wird im allgemeinen für die Gasbildung nicht von nach der Tageszeit differenzierten Werten, sondern von Tagesdurchschnittswerten ausgegangen. Als solche Tagesdurchschnittswerte können auch die im Literaturteil in den Tabellen 1 bis 4 zusammengestellten Angaben für die Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung angesehen werden. Darüber hinaus schließen die Werte zumeist den gesamten im Stall anfallenden Wasserdampf bzw. das Kohlendioxid, also auch die nicht von den Tieren selbst gebildeten Mengen, ein. Ausnahmen machen hier lediglich die als solche gekennzeichneten Luftwechselversuche und z. T. die allgemeinen Richtwertangaben.

Die eigenen Versuche umspannten lediglich die Tageszeit zwischen 12.00 Uhr und 21.00 Uhr. Diese Zeit wurde durch Fütterungen und Stallreinigungsarbeiten unterbrochen, während derer nicht gemessen wurde. Auch die Zeit der nächtlichen Stallruhe wurde experimentell nicht erfaßt. Um aus den eigenen Versuchen mit der Literatur vergleichbare Tagesdurchschnittswerte zu erhalten, wurde der 24-Stunden-Tag in Zeiten der Stallunruhe, bedingt durch Fütterung und Reinigung, und in Ruhezeiten differenziert und die fehlenden Stunden rechnerisch ergänzt. Diese Aufgliederung einschließlich der errechneten Tagesdurchschnittswerte ist für Wasserdampf und Kohlendioxid in Tabelle 29 zusammengestellt.

Charakteristik der Stallsituation	Berechnungsgrundlage	Tageszeit	Wasserdampfbildung X_{Ti} g/GVh
Morgenfütterung und Reinigung	8 Messungen 16.10 Uhr	8.00 - 10.00 Uhr	2325
Stallruhe vormittags	5 Messungen 12.10 Uhr	10.00 - 14.00 Uhr	1939
Mittagfütterung und Reinigung	8 Messungen 16.10 Uhr	14.00 - 17.00 Uhr	2325
Stallruhe nachmittags	7 Messungen 18.10 Uhr	17.00 - 19.00 Uhr	2070
Stallruhe abends	6 Messungen 20.10 Uhr	19.00 - 21.00 Uhr	1544
Stallruhe nachts	Ergebnisvergleich 20.10 Uhr/12.10 Uhr	21.00 - 8.00 Uhr	1444
Gesamttag			1770

Charakteristik der Stallsituation	Berechnungsgrundlage	Tageszeit	Kohlendioxidbildung K_{Ti} l/GVh
Morgenfütterung und Reinigung	8 Messungen 16.10 Uhr	8.00 - 10.00 Uhr	443
Stallruhe vormittags	5 Messungen 12.10 Uhr	10.00 - 14.00 Uhr	313
Mittagfütterung und Reinigung	8 Messungen 16.10 Uhr	14.00 - 17.00 Uhr	443
Stallruhe nachmittags	7 Messungen 18.10 Uhr	17.00 - 19.00 Uhr	517
Stallruhe abends	6 Messungen 20.10 Uhr	19.00 - 22.00 Uhr	453
Stallruhe nachts	5 Messungen 12.10 Uhr	22.00 - 8.00 Uhr	313
Gesamttag			375

Tab. 29: Bestimmung von Tagesdurchschnittswerten der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung aus den Hauptversuchen

Die in Tabelle 29 dargestellte Errechnung der Tagesdurchschnittswerte erfolgte unter Bezug auf die kontinuierlich Tag und Nacht mittels Thermohygrographen, Feuchtegebern und URAS gemessenen werte für die relative Luftfeuchtigkeit und den Kohlendioxidgehalt der Luft, und zwar sowohl der Versuchs-, als auch der zwischen den Versuchen liegenden Tage. Aufgrund dieser Möglichkeit einer Gesamtbetrachtung des 24-Stunden-Verlaufs konnten für die von den Hauptversuchen nicht erfaßten Tageszeiten analoge Versuchsergebnisse anderer Tageszeiten angesetzt werden. Dieses Vorgehen erschien mir möglich, da die Lüftungsanlage auf eine konstante Luftförderleistung eingestellt war. So ergab die Gesamtbetrachtung für die Morgenstunden im allgemeinen ein schnelleres Absinken der bei Fütterung und Stallarbeiten erhöhten wasserdampf- und Kohlendioxidwerte als am Mittag. Deshalb wurde der zugrundegelegte höhere wert morgens für 2 Stunden, mittags für 3 Stunden angesetzt. Auch der abendliche Verlauf war für die wasserdampf- und Kohlendioxidbildung verschieden zu beurteilen, wie in Tabelle 29 zum Ausdruck kommt. Der geminderte wert für die nächtliche wasserdampfbildung wurde durch Ergebnisvergleich von zwei Versuchspaaren um 20.10 Uhr und um 12.10 Uhr am jeweils darauffolgenden Tag ohne dazwischenliegende Stallarbeiten oder Fütterungen ermittelt. Die Kohlendioxidbildung in den Nachtstunden entsprach im Durchschnitt der der 12.10 Uhr-Versuche.

Im weiteren werden wasserdampf und Kohlendioxid getrennt besprochen.

WASSERDAMPF

Der in Tabelle 29 ermittelte Tagesdurchschnittswert der Wasserdampfbildung ist in Tabelle 30 experimentellen Werten, die Tabelle 1 entnommen wurden, gegenübergestellt.

Autor		Wasserdampfbildung X_{Ti} g/GVh
BOND u. Mitarb.	1959	670
PAESLACK	1965	760
WOLFERMANN	1969	770
HILLIGER u. GÖTTLING	1971	960
WOLFERMANN u. HORNIG	1973	760
ABSHOFF	1974	720
WERNERY u. HILLIGER	1974a	663 - 1505
WERNERY u. HILLIGER	1974b	1180 (Tagesdurchschnitt)
		1977 (12.00 bis 15.00 Uhr)
eigener Befund		1770

Tab. 30: Tagesdurchschnittswerte der Wasserdampfbildung im Schweinestall aus der Literatur im Vergleich zum eigenem Befund

Wie schon im Literaturteil beschrieben, streuen die angegebenen Werte in sehr hohem Maße. Als Begründung wurde auf die unterschiedlichen Haltungsverfahren und Meßmethoden hingewiesen. Unter diesem Gesichtspunkt fällt in erster Linie der von BOND u. Mitarb. angegebene Wert für einen Vergleich mit dem eigenen Befund heraus (Klimakammerversuch). Aber auch beim Vergleich mit den restlichen Angaben liegt der eigene Befund deutlich höher. Als mögliche Gründe sind folgende Gegebenheiten bei den eigenen Versuchen zu nennen:

1. das geringere Durchschnittsgewicht der Tiere
2. die hohe Stallufttemperatur
3. die geringe Stallbelegung

Wie aber aus den Darlegungen im Ergebnisteil deutlich wurde, scheinen die ersten beiden genannten Faktoren keinen so wesentlichen Einfluß auf die Wasserdampfbildung zu haben, um damit die eigenen sehr hohen Werte genügend erklären zu können. Schon der Vergleich der sehr weit streuenden Angaben von WERNERY u. HILLIGER macht deutlich,

daß weitere Faktoren hier den Ausschlag geben. Diese Faktoren, die bei den eigenen Versuchen zu der besonders hohen Wasserdampfbildung beigetragen haben, sind primär in Stallspezifika zu suchen. Deshalb wird dieser Zusammenhang weiter unten im Abschnitt "Bedeutung des Einflusses von Haltungsform und Betriebsablauf auf die Ergebnisse" besprochen. Es bleibt festzuhalten, daß die selbst ermittelten Durchschnittswerte erheblich über den Literaturangaben liegen.

KOHLENDIOXID

Der in Tabelle 29 ermittelte Tagesdurchschnittswert der Kohlendioxidbildung ist in Tabelle 31 experimentellen Angaben, die Tabelle 3 entnommen wurden, gegenübergestellt.

Autor		Kohlendioxidbildung l/GVh
OSLAGE u. Mitarb.	1966	200
HILLIGER u. GÖTTLING	1971	377
WERNERY u. HILLIGER	1974b	280
eigener Befund		375

Tab. 31: Tagesdurchschnittswerte der Kohlendioxidbildung im Schweinestall aus der Literatur im Vergleich zum eigenem Befund

Auch hier unterscheiden sich die Literaturwerte sehr stark, das Minimum verhält sich zum Maximum wie 1 : 1,9. Vor allem die Angaben von OSLAGE, die auf Umrechnungen von Stoffwechselversuchen beruhen und nur das vom Tier direkt stammende Kohlendioxid beinhalten, eignen sich wenig zum Vergleich mit den eigenen Versuchen. Die beiden anderen Angaben unterscheiden sich bezüglich der Versuchsbedingungen primär in der Entmistungsform, was für einen starken Einfluß der Gülle bei der Kohlendioxidbildung sprechen könnte. Dieser Einfluß konnte bei den eigenen Versuchen, wenn auch

in geringerem Maße, festgestellt werden. Die eigenen Kohlendioxidwerte liegen bei den vom Entmistungsverfahren her am ehesten vergleichbaren von HILLIGER u. GÖTTLING, aber über den von WERNERY u. HILLIGER. Das dürfte auf das erheblich geringere Durchschnittsgewicht der eigenen Tiere und auf die Entmistungsform zurückzuführen sein. Die eigenen Angaben liegen insgesamt im Bereich der vergleichbaren experimentellen Literaturangaben.

Im Ergebnisteil wurde gezeigt, daß weder die Variationsbreite noch die absolute Höhe der Befunde durch die Einflußfaktoren Stallklima (Stallufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit) oder durchschnittliches Tiergewicht erklärt werden können, sondern daß eine Einwirkung anderer Faktoren zu vermuten ist. Besonders Tageszeit, Haltungsform und Betriebsablauf und eventuell die Versuchsdurchführung lassen eine Einflußnahme erwarten und werden im folgenden untersucht.

B) Bedeutung des Einflusses der Tageszeit auf die Ergebnisse

Zur Überprüfung eines Einflusses der Tageszeit auf die wasserdampf- und Kohlendioxidbildung wurden die ermittelten Werte nach den Ausblaszeiten geordnet. Die für die einzelnen Tageszeitgruppen errechneten Standardabweichungen und Variationskoeffizienten sind in Tabelle 32 zusammengestellt.

Ausblas-zeit	12.10 Uhr	16.10 Uhr	18.10 Uhr	20.10 Uhr
	Wasserdampfbildung X_{Ti} g/GVh			
n	5	8	7	6
$\bar{x}$	1939	2325	2070	1544
s	± 804	± 194	± 152	± 126
v	± 41,5 %	± 8,3 %	± 7,3 %	± 8,1 %
	Kohlendioxidbildung K_{Ti} 1/GVh			
n	5	8	7	6
$\bar{x}$	313	443	517	453
s	± 34	± 18	± 20	± 13
v	± 10,9 %	± 4,1 %	± 3,8 %	± 3,0 %

Tab. 32: Vergleich der Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung der einzelnen Tageszeitgruppen der Hauptversuche

Die graphische Darstellung dieser Mittelwerte in Abhängigkeit von der Tageszeit zeigt Abbildung 7. Die Werte der 16.10 Uhr-Versuche wurden als 100 % gesetzt.

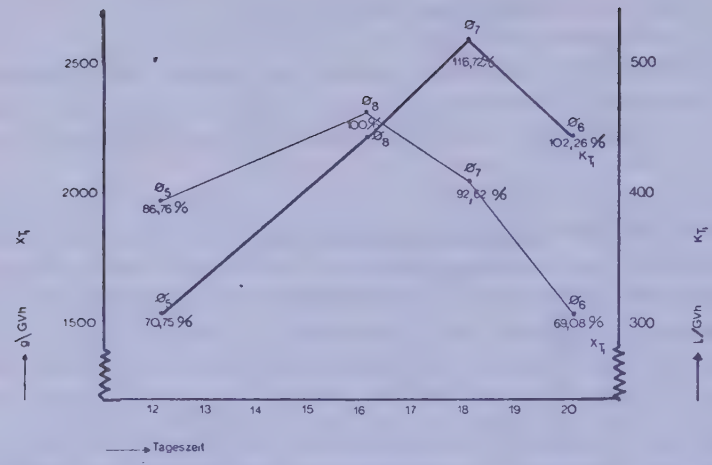


Abb. 7: Tageszeitlicher Verlauf der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung bei den 26 Hauptversuchen

Das Maximum der ermittelten WASSERDAMPFBILDUNG liegt bei den 16.10 Uhr-Werten, die als 100 % gesetzt wurden. Die 12.10 Uhr- bzw. 18.10 Uhr-Werte liegen bei 87 % bzw. 93 %. Die geringste Wasserdampfbildung zeigt sich um 20.10 Uhr mit 70 % der 16.10 Uhr-Werte. Standardabweichung und Variationskoeffizient der Nachmittags- und Abendversuche liegen relativ niedrig und wesentlich unter den entsprechenden Werten der Gesamtversuchsserie (X_{T1} = 2002 $\pm$ 457g/GVh, v = $\pm$ 22,8 %). Der statistische Vergleich der 16.10-, 18.10- und 20.10 Uhr-Serie nach dem Wilcoxon-Test ergibt signifikante Unterschiede (Signifikanzgrenze 5 %). Die 12.10 Uhr-Gruppe zeigt eine besonders große Steuung, deren Ursache in haltungstechnischen Bedingungen lag und weiter unten besprochen wird.

Das Maximum der KOHLENDIOXIDBILDUNG zeigt sich 2 Stunden nach dem Maximum der Wasserdampfbildung bei den 18.10 Uhr-Versuchen mit 117 % gegenüber den als 100 % gesetzten 16.10 Uhr-Befunden. Die 20.10 Uhr-Werte liegen bei 102 %, das Minimum bei den 12.10 Uhr-Werten mit 71 %. Die Streuung ist bei den 12.10 Uhr-Versuchen noch relativ groß und nimmt zum Abend hin stark ab. Die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten liegen für alle vier Gruppen deutlich unter denen der Gesamtserie (K_{Ti} = 440 $\pm$ 73 l/GVh, v = $\pm$ 16,6 %). Bei einem statistischen Vergleich der benachbarten Zeitgruppen mit dem Wilcoxon-Test ist jeweils ein signifikanter Unterschied festzustellen (Signifikanzgrenze 1 %).

Die dargestellten Befunde zeigen deutliche tageszeitliche Schwankungen in der Höhe der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung. Schwankungen in dieser Art waren nach der Literatur durchaus zu erwarten. So berichten PAESLACK 1965, WERNERY u. HILLIGER 1974a und 1974b, daß die Wasserdampfbildung in den Mittags- bis Nachmittagsstunden besonders hoch ist. Auch die Spannweite zwischen festgestelltem Maximum und Minimum liegt im Rahmen dieser Literaturangaben. So liegt das Minimum bei den eigenen Versuchen etwa 30 %, bei WERNERY u. HILLIGER 1974a für den entsprechenden Zeitraum etwa 20 %, bei WERNERY u. HILLIGER 1974b sogar fast 50 % unter dem Maximum. Ähnliches gilt für die Kohlendioxidwerte. Hier ist das Minimum der eigenen Befunde etwa 40 %, bei WERNERY u. HILLIGER 1974b über 30 % geringer als das Maximum.

Der Tagesverlauf der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung wird noch anschaulicher bei einer qualitativen Auswertung der kontinuierlich im 24-Stunden-Rhythmus registrierten relativen Feuchte bzw. des Kohlendioxidgehaltes durch Feuchtegeber bzw. URAS. Es zeigt sich für den WASSERDAMPF ein schnelles Ansteigen der relativen Feuchte nach den Stallarbeiten (morgens und mittags) mit einem darauffolgenden allmählichen Abfall. Desgleichen erfolgte

bei der Fütterung ein schnelles Ansteigen des KOHLENDIOXIDGEHALTES der Luft, morgens im allgemeinen gegen 9.00 Uhr. Bis zu den 12.10 Uhr-Versuchen war der Kohlendioxidgehalt meistens wieder nahezu auf das Niveau vor der Fütterung abgefallen. Auch die Mittagsfütterung führte zu dem schnellen Anstieg mit nachfolgendem Abfall, allerdings blieb das Nachmittagsniveau der Kohlendioxidbildung höher als am Vormittag und stieg gelegentlich sogar nochmals schwach bis gegen 18.00 Uhr an. Erst danach erfolgte der Abfall zur Nacht hin. Infolge des relativ schnellen Abfalls der naßreinigungs- bzw. fütterungsbedingten Erhöhung der wasserdampf- und Kohlendioxidbildung kamen diese Spitzen bei den jeweils darauffolgenden Versuchen (12.10 Uhr bzw. 16.10 Uhr) nur z. T. (Wasserdampf) oder fast gar nicht (Kohlendioxid) zum Tragen. So erklärt sich das ermittelte Maximum der Kohlendioxidbildung bei den 18.10 Uhr-Versuchen als eine Folge des erhöhten tierischen Stoffwechsels am späten Nachmittag. Zur Nacht hin fällt die Kohlendioxidbildung wegen der Senkung der Stoffwechselleistungen ab (COMBERG u. WOLFERMANN 1964, MOUNT 1968, WERNERY u. HILLIGER 1974a und 1974b).

Zur Begründung von tageszeitabhängigen Schwankungen bei der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung von Schweinen wurde schon im Literaturteil auf die endogenen Tagesrhythmen im Stoffwechsel von Organismen hingewiesen (MENZEL 1963, ASCHOFF 1964, RENSING 1973). Praxisbezogene quantitative Angaben über die Höhe der physiologischen Schwankungen der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung von Schweinen aufgrund der endogenen Stoffwechselrhythmik liegen leider nicht vor. Die Größe des Einflusses der Stoffwechselrhythmik auf die festgestellten Tagesgänge der wasserdampf- und Kohlendioxidbildung im untersuchten Stall ist deshalb für die Versuche nicht eindeutig festzustellen. Aber sowohl die absolute Höhe der Schwankungen als auch die sehr unterschiedlichen Ergebnisse der 12.10 Uhr-Versuche, bei der die Versuchsbedingungen bezüglich

des Betriebsablaufs sehr unterschiedlich waren, lassen die Aussage zu, daß die physiologische Stoffwechselrhythmik der Tiere als Erklärung für die gemessenen tageszeitlichen Schwankungen vor allem der Wasserdampf-, aber auch der Kohlendioxidbildung, nicht ausreicht. Hier sind noch andere Einflußfaktoren wirksam, die primär in der Haltungsform und dem Betriebsablauf zu suchen sind. Andererseits ist festzuhalten, daß die physiologische Stoffwechselrhythmik, vor allem bei der Kohlendioxidbildung, zu dem festgestellten Tagesverlauf der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung mit den charakteristischen Maxima und Minima in dem untersuchten Schweinestall beigetragen hat, da die Maxima jeweils in den physiologisch stoffwechselaktiven, die Minima in den stoffwechselpassiven Zeiten gemessen wurden.

C) Bedeutung des Einflusses von Haltungsform und Betriebsablauf auf die Ergebnisse

In diesem Kapitel wird auf die Einflußfaktoren Stallreinigung, Tierfütterung, Güllelagerung und geringe Belegung im Versuchsstall eingegangen. Hierbei werden Wasserdampf und Kohlendioxid getrennt besprochen.

WASSERDAMPF

Im vorigen Besprechungspunkt wurde die hohe Streuung der Befunde der 12.10 Uhr-Versuche erwähnt und bereits auf ihren Zusammenhang mit haltungstechnischen Gründen hingewiesen. Der Stall wurde im allgemeinen nach der Fütterung der Tiere unter reichlicher Benutzung von Leitungswasser gereinigt. Diese Stallreinigung wurde vor den 12.10 Uhr-Versuchen mit unterschiedlicher Intensität, jedoch nicht regelmäßig durchgeführt. Tabelle 33 zeigt eine Gegenüberstellung der Intensität der jeweiligen Stallreinigung und der im darauffolgenden Versuch ermittelten Wasserdampfbildung im Stall.

Hauptversuche, 12.10 Uhr-Versuche	
X_{Ti} g/GVh	Stallreinigung vor dem Versuch
1980	+
1236	-
2014	+
3210	++
1255	-

\- = keine Stallreinigung
\+ = durchschnittliche Stallreinigung mit Leitungswasser
++ = Reinigung mit stark erhöhter Wasserbenutzung

Tab. 33: Wasserdampfbildung nach der Stallreinigung

Es zeigt sich, daß bei den beiden Versuchen ohne vorherige Stallreinigung nahezu gleich große Wasserdampfbildung ermittelt wurde. Entsprechendes gilt für die nächsthöheren Wasserdampfwerte der zwei Versuche nach durchschnittlicher Stallreinigung.

Nach der Stallreinigung war bei Beginn der Messungen um 12.10 Uhr ein Teil des Stallfußbodens, im allgemeinen 15 bis 20 m^2, mit einem Wasserfilm bedeckt. MOTHES u. Mitarb. 1969 stellten in Versuchen bei 1000 g Wasser/m^2 Fläche und einer Luftgeschwindigkeit von 0,1 bis 0,3 m/s bei Stalltemperaturen von 20° C eine Wasserverdunstung von 85 g/m^2h fest. Für die gegebene Stallsituation errechnet sich hieraus eine Wasserverdunstung von etwa 1300 bis 1700 g/Stall h oder von 670 bis 890 g/GVh. Diese errechneten Werte erscheinen durchaus realistisch, da sie der Differenz der eigenen Befunde bei den 12.10 Uhr-Versuchen ohne vorherige bzw. nach durchschnittlich intensiver Reinigung entsprechen. Die Luftgeschwindigkeit im Versuchsstall ist dabei wegen der drei aufgestellten Tischfächer als an der oberen Grenze der Angaben von MOTHES anzusetzen. Das in der eigenen Versuchsgruppe festgestellte Wasserdampfmaximum nach

der besonders reichlichen Wasserbenutzung zur Reinigung liegt über dem 2,5-fachen der Werte ohne vorhergehende Reinigung. Die Differenz zwischen diesen Werten ist meines Erachtens ausschließlich der sekundären Wasserdampfbildung, also dem nicht von den Tieren selbst produzierten (= primäre Wasserdampfbildung), sondern aus anderen Verdunstungsquellen im Stall entstehenden Wasserdampf zuzuschreiben.

Die zweite Fütterung und Naßreinigung im Stall erfolgte in der Regel zwischen 13.00 Uhr und 14.00 Uhr. Auch danach war der Stallfußboden wieder flächig naß. Bei den ersten Nachmittagsversuchen (16.10 Uhr) finden sich auch regelmäßig die Maxima der Wasserdampfbildung im Stall. Zum Abend hin werden die Werte immer geringer.

Aus dieser Analyse wird die Bedeutung des Einflusses der Stallnaßreinigung auf die Höhe der ermittelten Wasserdampfbildung deutlich. Die festgestellten tageszeitlichen Schwankungen stellen sich in erster Linie als Trocknungsvorgang eines durch ausgiebige Wasserbenutzung bei der Stallarbeit stark mit Feuchtigkeit angereicherten Raumes dar. Diese Anschauung wird durch die unter III.C.3 beschriebenen Ergebnisse der ergänzenden Versuche im Stall ohne Tiere erhärtet. Die starke Einflußnahme der sekundären Wasserdampfbildung auf den gesamten Wasserdampfanfall erwähnen bereits BOND, KELLY u. HEITMANN 1952, GYSEL 1962, PETIT u. DEBRUYCKERE 1965, HILLIGER, BIEBER u. KURZBEIN 1974 und WERNERY u. HILLIGER 1974a und 1974b.

Der durch den Betriebsablauf bedingte Rhythmus überdeckt weitgehend jeden anderen, eventuell von den Tieren ausgehenden Rhythmus. Daß auch dieser die festgestellten Schwankungen mit unterstützt hat, ist wahrscheinlich, da die Stallreinigung mit dem Füttern einherging. Über erhöhte Wasserdampfbildung der Schweine während oder

nach den Fütterungszeiten berichten bereits PAESLACK 1965 (in der Fütterungszeit 30 % über dem Durchschnitt), WOLFERMANN u. HORNIG 1973 (ca. 10 % Erhöhung) und ABSHOFF 1974.

Der festgestellte dominante Einfluß der Naßreinigung auf die Höhe der Wasserdampfbildung erklärt auch die in den Ergebnissen unter III.C.2.c gemachte Feststellung, daß die größte Wasserdampfbildung zusammen mit der höchsten relativen Feuchte der Stalluft gemessen wurde. Dieses Ergebnis ist ausschließlich dem stark erhöhten sekundären wasserdampfanfall zuzuschreiben, der zugleich auch zu einem Ansteigen der relativen Luftfeuchte führte. Dieser Effekt überdeckt die in der Literatur beschriebene Tendenz geringerer Wasserdampfbildung der Tiere bei höherer relativer Luftfeuchtigkeit.

Die unterschiedliche Höhe des Güllestandes schlug sich nicht meßbar in den gefundenen Wasserdampfwerten nieder.

Ein weiterer stallspezifischer Faktor ist die relativ geringe Stallbelegung mit einem verfügbaren Luftraum von ca. 90 m^3/GV. Sie bewirkt, daß bei der Berechnung der wasserdampfwerte auf Großvieheinheit und Stunde der Einfluß der sekundären Wasserdampfbildung besonders stark zutage tritt. Das wirkt sich zum einen als allgemeine Erhöhung der Gesamtwerte, zum anderen in besonders hohen Tagesschwankungen aus. In der Literatur wird bezüglich der Stallbelegungsdichte ein verfügbarer Luftraum von 15 bis 30 m^3/GV empfohlen (STIETENROTH 1955 und 1972, DIN 18910 Mai 1963). Für eine verallgemeinerung der eigenen werte auf praxisübliche Bedingungen gehe ich deshalb von einer dreifach höheren Stallbelegung aus. Als Grundlage einer quantitativen Abschätzung der tiereigenen und der sekundären wasserdampfbildung nehme ich die werte der DIN 18910 1974, die für 40 kg-Schweine eine wasserdampfbildung von 600 g/GVh angibt. Das entspricht

34 % des eigenen errechneten Tagesdurchschnittswertes (X_{Ti} = 1770 g/GVh). Dieser Anteil steigt bei 3-facher Belegung auf das Dreifache (X_{Ti} = 1800 g), während die sekundäre Wasserdampfbildung als etwa gleichbleibend (X_{Ti} = 1170 g) angesetzt werden kann. So ergibt sich X_{Ti} = 2970 g/h für 3 GV. Aus dieser Überlegung errechnet sich für die Wasserdampfbildung einer GV ein Wert von X_{Ti} = 990 g/GVh. Damit liegt der Wert bei den vergleichbaren experimentellen Angaben von WERNERY u. HILLIGER 1974a und 1974b.

KOHLENDIOXID

Ähnlich der Wasserdampfbildung zeigte auch die Kohlendioxidbildung bei den 12.10 Uhr-Versuchen eine erheblich größere Streuung als die Ergebnisse der anderen Tageszeitgruppen. Auch hier war ein gewisser Einfluß der unterschiedlichen Stallreinigung vor den Versuchen nicht auszuschließen. In Tabelle 34 sind die jeweiligen Stallarbeiten den gemessenen Kohlendioxidwerten gegenübergestellt.

Hauptversuche, 12.10 Uhr-Versuche

K_{Ti} 1/GVh	Stallreinigung vor dem Versuch
282	+
306	-
368	+
320	++
290	-

\- = keine Stallreinigung
\+ = durchschnittliche Stallreinigung mit Leitungswasser
++ = Reinigung mit stark erhöhter Wasserbenutzung

Tab. 34: Kohlendioxidbildung nach der Stallreinigung

Aus dieser Gegenüberstellung läßt sich keine Beziehung zwischen der Stallreinigung und der Höhe der gebildeten Kohlendioxidmenge feststellen, auch im leeren Stall (ergänzende Versuche) ist kein Einfluß der Stallreinigung nachweisbar.

Der mögliche Einfluß der Fütterung auf die Kohlendioxidbildung der Tiere wurde bereits bei der Besprechung des Tageszeiteinflusses (IV.B) erwähnt.

Der quantitative Einfluß der Gülle auf die im belegten Stall gebildeten Kohlendioxidmengen kann aus meinen Befunden nicht eindeutig abgeleitet werden. Die bei den Leerversuchen aus der Gülle entstehenden Kohlendioxidmengen waren sehr gering und beliefen sich auf nur etwa 2 % der gesamten Kohlendioxidbildung im belegten Stall. Dabei ist aber zu beachten, daß die Gülle bei den Leerversuchen eine ruhige Oberfläche hatte (kein Hineinfallen von frischem Kot), daß die Gülle bereits älter war und daß die Liegeplätze und der Teilspaltenboden vom Kot gereinigt waren. Für die Versuche mit Tieren ist der Wert aus den ergänzenden Versuchen deshalb nicht direkt übertragbar, sondern gewiß erheblich höher anzusetzen. Dennoch ist davon auszugehen, daß die Kohlendioxidbildung in größerem Maße als die Wasserdampfbildung von den Tieren selbst stammte.

Der Einfluß der relativ geringen Stallbelegung ist daher für die Höhe der auf Großvieheinheiten berechneten Kohlendioxidbildung nicht als ganz so groß anzusetzen wie beim Wasserdampf, aber dennoch zu berücksichtigen. Zur Abschätzung der zu erwartenden Kohlendioxidbildung bei dreifacher Stallbelegung (praxisüblich) verfahre ich wie beim Wasserdampf unter Berücksichtigung des in der DIN 18910 1974 angegebenen Wertes für die Kohlendioxidbildung von 40 kg-Schweinen von 200 l/GVh. Es errechnet sich hieraus ein eigener Wert von K_{Ti} = 258 l/GVh.

Damit liegt der Wert im Bereich vergleichbarer experimenteller Literaturangaben.

D) Möglichkeit des Einflusses der Versuchsdurchführung und einige Bemerkungen zur Versuchstechnik

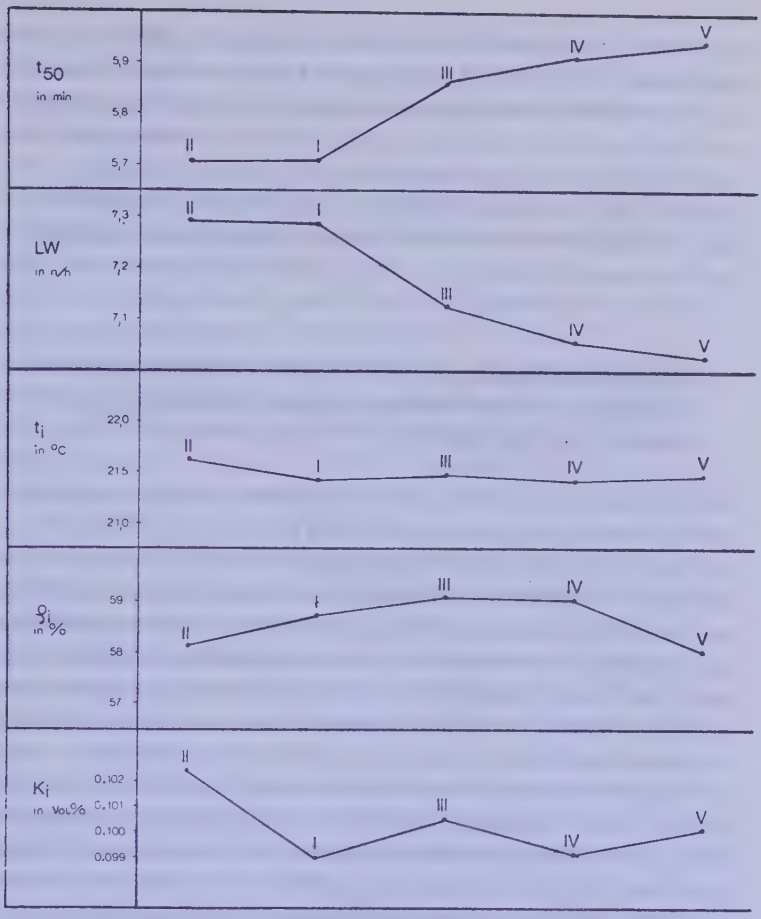
Als ein versuchsspezifischer Faktor, der vor allem die Wasserverdunstung beeinflußt haben mag, ist die Aufstellung der drei Tischfächer zur besseren Durchmischung der Luft mit Krypton-85 anzuführen. Die hierdurch erhöhte Luftgeschwindigkeit kann sich in Form einer Steigerung der Wasserverdunstung vom Stallboden auswirken, wie im Literaturteil II.E)5. beschrieben wurde. Nach den Angaben von WERNERY u. HILLIGER 1974b ist eine Erhöhung der Wasserdampfbildung um 5-6 % eventuell zu erwarten.

Eine weitere Einflußmöglichkeit, die in Betracht gezogen werden kann, ist eine durch die Versuchsdurchführung bewirkte Unruhe der Tiere mit einhergehenden erhöhten Stoffwechselleistungen. Diesem Faktor messe ich allerdings nur geringe Bedeutung bei, da die Tiere sich relativ schnell an die mit der Versuchsdurchführung verbundenen Bewegungen und Manipulationen gewöhnten.

Nicht auszuschließen ist, daß die Ergebnisse auch von der Versuchstechnik mit beeinflußt werden. Besonders kritisch ist in dieser Hinsicht die Luftwechselbestimmung. Das Tracergasverfahren geht von einer einheitlichen Luftdurchmischung im Stall aus. Daher ist das Tracergas möglichst stoßartig und in ausreichender Konzentration (MZK) der Stalluft zuzumischen (GÖTTLING u. Mitarb. 1972). Zugleich ist auf eine homogene Luftsituation im Stall zu achten, wobei Tischfächer hilfreich sein können. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, ist das Verfahren als optimal zur Bestimmung von Luftwechsel oder Luftrate anzusehen.

Auch die genaue Erfassung der Wasserdampf- und Kohlendioxidkonzentration wird durch eine homogene Luftsituation (gute Luftdurchmischung) begünstigt, wogegen bei "träger" Luft mit Anreicherungs- und Verdünnungszonen zu rechnen ist. Nach MOTHES 1973 ist bei geringer Luftbewegung eine Kohlendioxidanreicherung am Boden (spezifisches Gewicht größer als das der Luft) und eine Anreicherung von Wasserdampf unter der Stalldecke zu erwarten.

Eine Beurteilung der Luftsituation an den verschiedenen Meßplätzen im untersuchten Stall ermöglicht Abbildung 8. Hier sind die gemessenen Werte für die Halbierungszeit der Kr-85-Konzentration, den Luftwechsel, die Stalluft-temperatur, die relative Feuchte und die Kohlendioxid-konzentration an den 5 Meßplätzen im Stall als Durchschnitt der Hauptversuche dargestellt. Die relativ geringen Abweichungen der Werte der einzelnen Meßplätze untereinander werden als Zeichen einer befriedigend homogenen Luftsituation im Versuchsstall gewertet.



I-V: Meßplätze

Abb. 8: Halbierungszeit t_{50}, Luftwechsel LW, Stallufttemperatur t_i, relative Feuchte φ_i und Kohlendioxidkonzentration K_i der Stalluft an den Meßplätzen I bis V im Durchschnitt der 26 Hauptversuche.

Ein Punkt, der beim Einsatz des Tracergasverfahrens ferner beachtet werden muß, ist der Strahlenschutz sowohl für den Versuchsdurchführenden als auch für die Nutztiere. Eine solide Sachkunde ist hierbei zur Vermeidung von Gefährdungen und zum Ausschluß von Schäden dringend notwendig. Bei längerfristigen Versuchsserien könnte überlegt werden, ob der Einsatz eines Atemgerätes sinnvoll bzw. notwendig ist.

E) Schlußfolgerungen aus den eigenen Befunden für die Bemessung von Richtwerten zur Berechnung des notwendigen Lüftungsumfangs

Beim Vergleich der eigenen Befunde mit den Richtwerten der DIN 18910 ist zu berücksichtigen, daß die Temperatur im Versuchsstall im Durchschnitt um 5° C über der von der DIN empfohlenen Temperatur lag. Darüber hinaus muß eine über das praxisübliche erhöhte Luftgeschwindigkeit (drei Tischfächer) angenommen werden. Ich gehe davon aus, daß diese beiden Faktoren zu vermehrter Wasserdampfbildung geführt haben. Die Einzelfaktoren sind bei meinen Versuchen zwar nicht exakt quantitativ zu erfassen, sollten aber doch bei einem Vergleich mit den Richtwerten berücksichtigt werden. Nach eigener Schätzung unter Würdigung der Angaben von DEBRUYCKERE 1965, MOTHES u. Mitarb. 1969 und WERNERY u. HILLIGER 1974b dürfte bei der Wasserdampfbildung diesen Einflußfaktoren mit einem Abzug bis zu 10 % vom rechnerischen Tagesdurchschnittswert unter praxisüblicher Stallbelegung X_{Ti} = 990 g/GVh (s. IV.C)) angemessen Rechnung getragen sein. Es ergeben sich für die Wasserdampfbildung von 40 kg-Schweinen in einem einstreulosen Stall mit Teilspaltenboden bei täglicher Naßreinigung als Vorschlag für einen Richtwert X_{Ti} = 900 g/GVh. Bei der Kohlendioxidbildung halte ich die eben beschriebenen Einflußmöglichkeiten bei diesen speziellen Versuchen für unbedeutend, so daß ein Abzug vom unter

Punkt IV.C) errechneten Wert nicht erforderlich ist. Als Vorschlag für einen Richtwert für die Kohlendioxidbildung unter den obengenannten Bedingungen erhalte ich K_{Ti} = 260 l/GVh.

Die DIN 18910 1974 gibt zur Berechnung der notwendigen Lüftung in Schweineställen nach dem Wasserdampf- bzw. Kohlendioxidhaushalt Richtwerte für den im Stall zu erwartenden Wasserdampf- und Kohlendioxidanfall an. Diese Werte sind nach Tierart und Alter (Sauen mit Ferkeln, Mastschweine, Absatzferkel usw.) mit unterschiedlichen Temperaturempfehlungen gegliedert. Wie schon durch VON CAMPE 1970 und WERNERY u. HILLIGER 1974a und 1974b geäußert, sind die in der DIN 18910 angegebenen Klimarichtwerte nur mit Vorbehalten auf praxisübliche Ställe anwendbar. Die genannten Autoren betonen übereinstimmend, daß das durchschnittliche Tiergewicht und die Stallufttemperatur zur Charakterisierung der Richtwerte für die Wasserdampf- bzw. Kohlendioxidbildung im Schweinestall nicht ausreichen. Dagegen seien besonders das Haltungs- bzw. Entmistungsverfahren, die Luftführung im Stall und die Fütterung zu berücksichtigen. Auch die eigenen Versuche machen deutlich, daß als Einflußfaktoren für die Höhe der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung besonders die Haltungsform und der Betriebsablauf von großer Wichtigkeit sind. Vor allem die ermittelte Wasserdampfbildung entstammte bei meinen Messungen etwa zu zwei Dritteln nicht von den Tieren selbst, sondern aus Verdunstungsquellen im Stall. Ähnliches ergab sich, wenn auch in geringerem Maße (50 %), für die Kohlendioxidbildung. Daß die eigenen Werte unter extremen Stallhaltungsbedingungen zustande kamen, wurde hinreichend beschrieben und bei der Empfehlung der Richtwerte berücksichtigt. Sie liegen mit X_{Ti} = 900 g/GVh und K_{Ti} = 260 l/GVh im Bereich der experimentellen Angaben von WERNERY u. HILLIGER 1974a und 1974b und verschiedener Richtwerte, wie der TGL 29084 und MOTHES 1973.

Aus den Ergebnissen der eigenen Versuche lassen sich unter Berücksichtigung der experimentellen Angaben weiterer Autoren folgende Feststellungen bezüglich der in der DIN 18910 1974 angegebenen Richtwerte machen:

1. Die Aufgliederung der Werte nach dem durchschnittlichen Tiergewicht gibt diesem Einflußfaktor einen zu grossen Stellenwert. Es ist davon auszugehen, daß Faktoren wie Haltungsform und Betriebsablauf einen größeren Einfluß auf die Höhe der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung haben können. Dieser Gesichtspunkt sollte sich in der Bemessung der Richtwerte niederschlagen. Für einstreulose Schweinemastställe mit Güllestaugrube und täglicher Naßreinigung wäre im Tagesdurchschnitt aufgrund der eigenen Befunde eine Erhöhung der DIN-Werte für X_{Ti} und K_{Ti} bis zu 50 % zu empfehlen. Erfolgt keine tägliche Naßreinigung, so kann erwartet werden, daß nur eine geringere Erhöhung notwendig ist, die im Bereich von 20 % bis 30 % liegen dürfte. Es sollte angestrebt werden, die Richtwerte nach den Stallgegebenheiten (Entmistungsform, Benutzung von Wasser zur Stallreinigung usw.) zu differenzieren.

2. Die Höhe der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung ist je nach den Stallgegebenheiten in unterschiedlichem Ausmaß tageszeitlichen Schwankungen unterworfen. Bei den in den eigenen Versuchen ermittelten sehr großen Schwankungen bieten die als Tagesdurchschnittswerte bestimmten Richtwerte nicht die Gewähr für eine jederzeit befriedigende Lüftung. Es bleibt zu prüfen, ob in solchen Fällen eine Orientierung an den zu erwartenden Maximalwerten der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung oder eine an den Tagesrhythmus angepaßte Steuerung der Lüftungsintensität in Betracht gezogen werden sollte.

3. In der DIN 18910 1974 wurde die in der Erstausgabe benutzte Bezugsgröße der Großvieheinheit (GV) ersatzlos gestrichen. Dieses erschwert sowohl einen Vergleich der

Lüftung verschiedener Stallungen als auch die überschlägige Berechnung der Lüftung. Aus diesem Grund wird die Wiedereinführung einer Bezugsgröße für das Tiergewicht befürwortet. Hierbei ist zu prüfen, ob als Bezugsgrösse 1000 kg (= 1 Tonne) vorzuziehen ist, da der Begriff Großvieheinheit heute seine Bedeutung weitgehend verloren hat (WERNERY u. HILLIGER 1974b).

V. Z U S A M M E N F A S S U N G

In einem einstreulosen Schweinemaststall mit Teilspaltenboden und einem Rauminhalt von 180 m^3 wurden Versuche zur Bestimmung der wasserdampf- und Kohlendioxidbildung durchgeführt. Zur Bestimmung des Luftwechsels wurde das Tracergasverfahren mit Krypton-85 angewendet. Die Errechnung der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung erfolgte nach dem Wasserdampf- bzw. Kohlendioxidmaßstab.

Nach 12 Vorversuchen im Sommer wurden 26 Hauptversuche im Herbst bei einem durchschnittlichen Tiergewicht von 40 kg durchgeführt, die durch 9 Messungen nach Räumung des Stalles durch die Tiere ergänzt wurden.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1. Der Durchschnitt der bei den 26 Hauptversuchen zwischen 12.00 und 21.00 Uhr ermittelten Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung beträgt:

$$X_{Ti} = 2002 \pm 457 \text{ g/GVh}$$
$$K_{Ti} = 440 \pm 73 \text{ l/GVh}$$

2. Dieser experimentelle Durchschnitt läßt sich zu folgendem Tagesdurchschnitt bei üblicher Belegungsdichte und bei täglich zweimaliger Naßreinigung umrechnen:

$$X_{Ti} = 900 \text{ g/GVh}$$
$$K_{Ti} = 260 \text{ l/GVh}$$

3. Die ungewöhnlich hohen Standardabweichungen der Befunde können nicht auf die Faktoren relative Luftfeuchtigkeit, Stallufttemperatur und durchschnittliches Tiergewicht zurückgeführt werden.

4. Einen dominierenden Einfluß auf die Höhe der Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung nimmt die Tageszeit. Das

Maximum der Wasserdampfbildung findet sich bei den 16.10 Uhr-Versuchen, es liegt um 30 % über dem um 20.10 Uhr festgestellten Minimum. Das Maximum der Kohlendioxidbildung liegt bei den 18.10 Uhr-Versuchen und ist um 45 % höher als das Minimum um 12.10 Uhr.

5. Der spezifische Tagesverlauf der Wasserdampfbildung ist weitgehend ein Ergebnis der Stallreinigungsarbeiten.

6. Der bei den Versuchen festgestellte Tagesverlauf der Kohlendioxidbildung wird mit dem Ansteigen der Stoffwechselaktivität der Schweine im Verlaufe des Nachmittags begründet.

7. Aus den ergänzenden Versuchen ohne Tiere im Stall kann keine quantitative Aussage über die Wasserdampfbildung aus der Gülle gemacht werden. Für die Kohlendioxidbildung aus der Gülle errechnen sich 3,7 l CO_2/h m^3 Gülle. Es ist zu erwarten, daß aus Gülle in einem belegten Stall eine größere Menge entsteht.

8. Auf der Basis der eigenen Befunde werden Vorschläge zur Bemessung von Richtwerten für die Berechnung des notwendigen Lüftungsumfanges gemacht.

Summary

Experiments for determining the water vapour and carbon dioxide production were conducted in a pig fattening house with partially slotted floor (no bedding) and with a room volume of 180 cubic meters. Air exchange was measured by means of the tracer-gas method with krypton 85. The values for water vapour and carbon dioxide production were calculated by means of the water vapour balance and the carbon dioxide balance, respectively.

Following 12 preliminary experiments in summer, 26 main experiments were conducted in autumn using animals with an average body weight of 40 kg, supplemented by 9 consequent measurements after removal of the animals.

The following results were obtained:

1. The average values obtained for water vapour and carbon dioxide production in the 26 main experiments, conducted between 12 noon and 9 p.m. were as follows:

$$X_{Ti} = 2002 \pm 457 \text{ g/500 kg and hour}$$
$$K_{Ti} = 440 \pm 73 \text{ l/500 kg and hour}$$

2. This experimental average can be converted to the following daily average, assuming customary animal density and hosing down twice daily:

$$X_{Ti} = 900 \text{ g/500 kg and hour}$$
$$K_{Ti} = 260 \text{ l/500 kg and hour}$$

3. The unusually high standard deviations of the results cannot be traced back to the factors relative humidity, air temperature or average body weight of the animals.

4. The time of day exerts a dominating influence upon the level of water vapour and carbon dioxide production. The maximum water vapour production was recorded by the 4:10 p.m. measurements; it lies 30 % higher than the minimum measured at 8:10 p.m. The maximum carbon dioxide production was recorded by the 6:10 p.m. measurements; it lies 45 % higher than the minimum measured at 12:10 p.m.

5. The specific daily course of water vapour production is largely a result of the stall-cleaning procedures.

6. The key to the daily course of carbon dioxide production observed in the experiments lies in the rise of the pigs metabolic activity during the afternoon.

7. Concerning water vapour production from the liquid manure, no quantitative statement can be made from the supplementary measurements after removal of the animals. Concerning the carbon dioxide production, 3,7 l carbon dioxide per h per cu.m. liquid manure was calculated. It is to be expected that higher values are to be attained from liquid manure in an occupied stall.

8. On the basis of the results experimentally obtained, recommendations are presented for ascertaining guidelines for the computations of sufficient ventilation.

VI. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. Aa, v.d., R. Veterinärhygienische Arbeitsmethoden
Jena: G. Fischer 1969

2. Abshoff, A.J. Uber die Wirtschaftlichkeit der künstlichen Kühlung von Schweineställen
(KTBL-Schrift.175.)
Hiltrup: Landwirtschaftsverl. 1974

3. Aschoff, J. Die Bedeutung der Tagesperiodik für Tierhaltung und Tierexperiment
In: Weihe, W.H. (Hrsg.) Die Umwelt der Versuchstiere
Bern, Stuttgart: Huber 1964
(Internat.Z. f. Vitaminforsch.,Beih. 9.)

4. Bond, T.E., C.F. Kelly u. H. Heitmann Heat and moisture loss from swine
Agric. Engineer. 33, 148-154 (1952)

5. Bond, T.E., C.F. Kelly and H. Heitmann jr. Hog house air conditioning and ventilation data.
Transact. Amer. Soc. Agric. Engineer. (Gen. Edit) 2, 1-4 (1959)

6. Borchert, K.L. Klimaregelung in Schweineställen
Schweinezucht Schweinemast 13, 3-5 (1965)

7. Bradtke, F. u. W. Liese Hilfsbuch für raum- und außenklimatische Messungen, 2. Aufl.
Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1952.

8. Campe, K.v. Neue Maßstäbe für die Bemessung der Stallüftung
Bauen a. d. Lande 21, 39-43 (1970)

9. Comberg, G.u. H.F. Wolfermann Der Kohlendioxid-, Ammoniak- und Schwefelwasserstoffgehalt der Stalluft von Rinder- und Schweineställen mit Gitterrost und Spaltenboden
(ALB-Berichtsh. 22) Frankfurt/M.: DLG-Verl. 1964

10. Debruyckere, M. Diskussions-Beitrag zur Sanierung der Feuchteprobleme in Ställen
(ALB-Berichtsh. 24) Frankfurt/M.: DLG-Verl. 1965

11. Evans, G.V. u.J.W.Webb An examination of radioisotope techniques for the measurement of ventilation-rate
Atomic Energy Research Establistment Harwell GB: Report AERE-R 6709, Feb. 1971

12. Georgiev, J. (Die Wirkung der Umgebungstemperatur auf den Wasser- und Elektrolythaushalt sowie auf einige andere physiologische Parameter des Hausschweines in verschiedenen Entwicklungsstadien)
Vet. med. Diss., Sofia 1970

13. Göttling, K. H. Domberg, H.G. Hilliger u. H. Vogg Die Technik der Luftwechselbestimmung mit radioaktivem Krypton-85 und ihre Anwendung auf Untersuchungen in Ställen
Gesund.-Ing. 93, 15-20 (1972)

14. Graf, D. Stallklimatische Untersuchungen in alten und neuen Rinder- und Schweinestallungen des Landkreises Donauwörth
Vet. med. Diss., München 1964

15. Grotewohl, C. u. E. Mothes — Ergebnisse kontinuierlicher Schadgasmessungen in einem Jungviehkompaktbau
Mh. Vet.-Med. 28, 87-94 (1973)

16. Gysel, A. — Erhebungen über Temperatur und Luftfeuchtigkeit in Schweineställen samt einiger Unterlagen zur Gestaltung des Stallklimas auf Grund ausländischer Angaben
Schweiz. Landwirtschaftl. Mh. 40, 311-334 (1962)

17. Hahn, B. — Stallklimatische Untersuchungen in alten und neuen Rinder- und Schweinestallungen des Landkreises Königshofen
Vet. med. Diss., München 1967

18. Harmann, D.J., A.C. Dale u. H.W. Jones — Effect of floor type on required moisture-vapor removal rate from swine finishing houses
Transact. Amer. Soc. Agric. Engineer. 11, 149-152 (1968)

19. Hillendahl, W. — Grundsätzliches zum Stallbau
Mitt. d. DLG 90, 267/268 (1975)

20. Hilliger, H.G. — Beitrag zur Entstehung von Gasen aus Tiefstreu und Kotgrube in Hühnerställen
Arch. Geflügelk. 30, 69-86 (1966)

21. Hilliger, H.G. — Lüftung und Wärmeschutz im Kuhstall bei niedrigen Außentemperaturen
(ALB-Schriftenreihe 31.) Frankfurt/M.: DLG-Verl. 1968

22. Hilliger, H.G. — Stallklimabeurteilung als tierhygienische Aufgabe
Tierärztl. Umsch. 24, 522-533 (1969)

23. Hilliger, H.G. Zur Kontrolle der Stallüftung
Zbl.Vet.Med., B 17, 66-70 (1970)

24. Hilliger, H.G. Zur Wasserdampf- und Kohlendioxidbildung
H.P. Bieber, in einem Stufenkäfig-Legehennenstall
U. Kurzbein Bauen a. d. Lande, 25, 22-23 (1974)

25. Hilliger, H.G. Zur Prüfung des Luftwechsels in Ställen
u. K. Göttling mittels der Tracergasmethode
Wien. tierärztl. Mschr. 58, 9-12 (1971)

26. Kalich, J. Der Einfluß des Stallklimas auf die Leistung der Tiere
Bauen a. d. Lande, 21, 98-104 (1970)

27. Karthaus, H. Die physikalische Gasanalyse
Allg. Grundlagen, 4. Aufl. Hrsg.:Fa.
Hartmann & Braun AG, Frankfurt/M. 1963

28. Karthaus, H. Physikalische Gasanalyse, Grundlagen
u. H. Engel- Hrsg.: Fa. Hartmann & Braun AG, Frank-
hardt furt/M. 1971

29. Kienle, W. Stallklimatische Untersuchungen in Rinder- und Schweinestallungen des Landkreises Landau a. d. Isar
Vet. med. Diss., München 1960

30. Kotz, J. Stallklimatische Untersuchungen (CO_2 -, NH_3-, H_2S-Gehalt, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) in Schweinemastbetrieben unter besonderer Berücksichtigung der Liegefläche (=Behaglichkeitszone)
Vet. med. Diss., Hannover 1972

31. Lutz-Dettinger, U., W. Wundt u. K. Eppenstein — Die Messung des CO_2-Gehaltes als Indikator für die hygienische Beurteilung der Raumluft
Arch. Hyg. Bakt. 151, 41-53 (1967)

32. Maltry, W. — Maßnahmen zur Konstanthaltung des Klimas in Viehställen
Dtsch. Agrartechnik, 10, 480-482 (1971)

33. Marschang, F. — Sammelreferat:
Stallklima: Seine Bedeutung für die Leistungsbereitschaft der Haustiere in der industriemäßigen Zucht und Haltung
Dtsch. tierärztl. Wschr. 78, 548-552, 609-612, 638, 642 (1971)

34. Menzel, W. — Menschliche Tag- Nacht-Rhythmik und Schichtarbeit
Basel, Stuttgart: Schwabe 1963

35. Morrison, S.R., T.E. Bond u. H. Heitmann Jr. — Skin and lung moisture loss from swine
Transact. Amer. Soc. Agric. Engineer. 10, 691,692, 696 (1967)

36. Mothes, E. — Der Einfluß des Stallklimas auf die Leistung in der Tierproduktion
Aus: Tierhygiene Information, Sonderh. Mit Beitr. vom 2. Hygiene-Symposium am 15./16.10. 1970 in Potsdam

37. Mothes, E. — Stallklima-Leistungsfaktor der Tierproduktion, Berlin: Deutscher Landwirtschafts-Verl. 1973

38. Mothes, E. u. Mitarb. Stallklima
Umweltanforderungen
Wärme-, Wasserdampf- und Gasabgabe der Tiere
(Schriftenreihe d. Bauforschung. Reihe Landwirtschaftsbau. 9.)
Berlin: Verl. Deutscher Bauinformation 1969

39. Mount, L.E. The climatic physiology of the pig
London: Arnold 1968

40. Ober, J. Gesundes Stallklima
Konstruktiver Wärmeschutz der Bauteile und Stallüftung.
Bonn: Bayerischer Landwirtschaftsverl. 1957

41. Ober, J. u. B. Mittrach Solltemperaturbereiche geschlossener Ställe
Stallklima
Arbeitsbl. Landwirtschaftl. Bauwesen Mai 1967, Bayer. Landesanstalt für Tierzucht, Grub/ b. München

42. Oslage, H.J. H. Fliegel, F.E. Farries u. K. Richter Stickstoff-, Fett- und Energieansatz bei wachsenden Mastschweinen
Z. Tierphysiol., Tierernährg. Futtermittelkde. 21, 1-82 (1966)

43. Paeslack, U. Wasserdampfabgabe von Rind, Schwein und Huhn
Arbeitsgem. landwirtsch. Bauwesen e.V., Frankfurt/M.
(ALB-Berichtsh. 24.) Frankfurt/M.: DLG-Verl. 1965

44. Petit, K.L. u. M. Debruyckere — Die Wasserdampferzeugung und die nutzbare Wärmeabgabe in Geflügelställen
Arbeitsgem. landwirtsch. Bauwesen e.V., Frankfurt/M.
(ALB-Berichtsh. 25.) Frankfurt/M.: DLG-Verl. 1965

45. Pettenkofer, M. — Über den Luftwechsel in Wohngebäuden
München: Cotta 1858

46. Pschyrembel, W. — Klinisches Wörterbuch
Berlin: De Gruyter 1969

47. Rensing, L. — Biologische Rhythmen und Regulation
Grundbegriffe der modernen Biologie, Bd 10.
Stuttgart: Fischer 1973

48. Rietschel/Raiß — Heiz- und Klimatechnik, 15. neubearb. Aufl. Bd 1. Von W. Raiß
Berlin, Heidelberg: Springer 1968

49. Sainsbury, D.W.B. — Animal health and housing
London: Bailliere & Cassel 1967

50. Sainsbury, D.W.B. — Recent trends in pig housing
Vet.Rec. 87, 714-719 (1970)

51. Sainsbury, D.W.B. — Climatic environment and pig performance
In: Cole D.J.A. (Ed.), Pig Production, 91-105. London: Butterworths 1972

52. Sällvik, K. — Investigations to compare different ventilation systems in order to avoid liquid manure gas poisoning of animals
VII.CIGR-Congress Baden-Baden, Kongress-Berichte, Dokumentation 6, Sektion IV Thema 3, 152-160 (1969)

53. Schnitzer, U. Untersuchungen zur Planung von Reitanlagen
(KTBL-Bauschrift 6.)
Hiltrup (Westf.): Landwirtschaftsverl. 1970

54. Seltmann, A. Stallhygiene im Allgäu
Vet. med. Diss. München 1955

55. Stephan, E. Anforderungen der produzierenden Haustiere an die Umwelt unter Berücksichtigung von Leistung und Gesundheit.
In Comberg, G. u. J.K. Hinrichsen (Hrsg.): Tierhaltungslehre. Stuttgart: Ulmer 1974

56. Stietenroth, K. Stallhygienische Untersuchungen
(Landwirtschaft-Angewandte Wissenschaft 20.) Hiltrup (Westf.): Landwirtschaftsverl. 1955

57. Stietenroth, K. Stallüftung und was damit zusammenhängt
Arbeitsgem.landwirtsch.Bauwesen e.V., Frankfurt/M.
(ALB-Heft 18.)
Frankfurt/M.: DLG-Verl. 1962

58. Stietenroth, K. Stallbau
In Roots-Haupt-Hartwigk: Veterinärhygiene 2. Aufl. S. 53-74
Berlin, Hamburg: Parey 1972

59. Wernery, U. u. H.G. Hilliger Der Umfang der Wasserdampfbildung in Schweinemastställen mit Teilspaltenboden
Zbl.Vet.Med.B., 21, 100-109 (1974a)

60. Wernery, U. u. H.G. Hilliger — Zum Unfang und zur Veränderlichkeit der in einem einstreulosen Mastschweinestall gebildeten Wasserdampf- und Kohlendioxidmengen.
Züchtungskde. 46, 299-301 (1974b)

61. Wolfermann, H.F. — Wärmeabgabe und Gasproduktion bei Rind, Schwein und Huhn
Arbeitsgem. landwirtsch. Bauwesen e.V., Frankfurt/M.
(ALB-Berichtsh. 24)
Frankfurt/M.: DLG-Verl. 1965

62. Wolfermann, H.F. — Wasserdampfanfall in Viehställen bei neueren Aufstallungs- und Haltungsverfahren - Mastschweine bei Ganzspaltenbodenhaltung.
VII. CIGR-Kongress Baden-Baden 1969, Kongress-Berichte, Dokumentation 6, Sektion IV Thema 3, 172-177

63. Wolfermann, H.F. — Stallklimatisierung: in Comberg, G. u. K. Hinrichsen (Hrsg): Tierhaltungslehre
Stuttgart: Meurer 1974

64. Wolfermann, H.F. u. J. Hornig — Wasserdampf- und Wärmeanfall im Stall
Bauen a. d. Lande 22, 385-387 (1971)

65. Wolfermann, H.F. u. J. Hornig — Ermittlung des Wasserdampf- und Wärmeanfalls in Rindvieh- und Schweineställen bei neueren Haltungsverfahren zur Ergänzung der DIN 18910
(KTBL-Schrift 171.) 7-35
Hiltrup (Westf.): Landwirtschaftsverl. 1973

66. ASAE Data: ASAE D249.1 — Effect of thermal environment on production, heat and moisture loss, and feed and water consumption of farm livestock
Amer. Soc. Agric. Engineers, St. Joseph, Michigan, 1961

67. Deutsche Normen DIN 18910 — Klima im geschlossenen Stall
Klima und Wärmehaushalt im Winter
Blatt 1, Mai 1963
Berlin: Beuth-Vertrieb 1963

68. Deutsche Normen DIN 18910 — Klima in geschlossenen Ställen
Entwurf März 1972
Berlin: Beuth-Vertrieb 1972

69. Deutsche Normen DIN 18910 — Klima in geschlossenen Ställen
Okt. 1974
Berlin: Beuth-Vertrieb 1974

70. Technische Schwedische Anweisung Nr. 10 — Värmeisolering, Ventilation, Fukt- och Värmeproduktion. Tekniska Anvisningar Nr. 10
Kgl. Lantbruksstyrelsen, Tekniska Sektionen Solna/Schweden 1968

71. TGL 29084 Entwurf Okt. 1974 — Standardisierung -Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft 13/1, 13-16 (1974)

Anlage

Abkürzungen und Maßeinheiten (alphabetisch geordnet)

a) Lateinische Buchstaben

GV		Großvieheinheit = 500 kg Lebendgewicht einer Nutztierart
K_{Ti}	l/GVh	Kohlendioxidbildung im Stall in Liter pro Stunde, bezogen auf eine Großvieheinheit
LW	/h	Luftwechselzahl = Häufigkeit der Erneuerung der Raumluft pro Stunde
n		Versuchsanzahl
s		Standardabweichung
t_a	°C	Temperatur der Außenluft in Grad Celsius
t_i	°C	Temperatur der Stalluft in Grad Celsius
t_{50}	min	Durchschnittliche Zeit für die Halbierung der Krypton-85-Konzentration (Halbierungszeit) bei Konzentrationsabfallmessungen in Minuten
v		Variationskoeffizient
V	m^3/GVh	Luftrate = die pro Großvieheinheit zugeführte Frischluftmenge in Kubikmeter pro Stunde
$\bar{x}$		Durchschnittswert der Wasserdampf- bzw. Kohlendioxidbildung der jeweils auf die Streuung geprüften Versuchsgruppe
X_{Ti}	g/GVh	Wasserdampfbildung im Stall in g pro Stunde, bezogen auf eine Großvieheinheit

b) griechische Buchstaben

φ_a	%	relative Luftfeuchtigkeit der Außenluft in Prozent
φ_i	%	relative Luftfeuchtigkeit der Stalluft in Prozent

Zum Schluß dieser Arbeit möchte ich Herrn Professor Dr. H.G. Hilliger für die Uberlassung des Themas und für die jederzeit gewährte Unterstützung danken.

L e b e n s l a u f

9.2.1948	geboren in Letmathe/NRW
1954-1958	Besuch der Volksschule in Hohenlimburg
1958-1966	Besuch des städtischen Gymnasiums in Hohenlimburg
November 1966	Abitur
1966-1971	Studium der Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin
1968	Tierärztliche Vorprüfung
1971	Staatsexamen an der FU Berlin
Januar 1972	Approbation als Tierarzt
Februar - Dezember 1972	Vertretungsstelle als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Veterinär-Hygiene der FU Berlin
seit 1973	Doktorand am gleichen Institut

B. Ladewig - Dissertationsdruck - 1 Berlin 12 - Pestalozzistraße 106
Tel.: 3128885 - 3138198